



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 164 009** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) МПК<sup>7</sup> **G 01 F 1/84**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

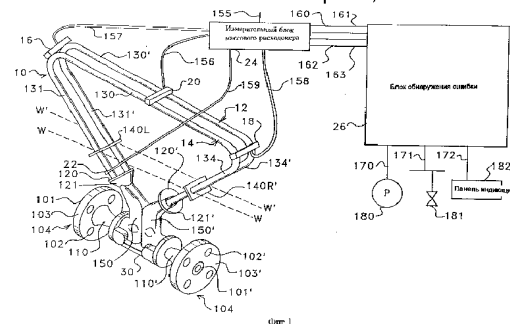
(21), (22) Заявка: 97104007/28, 24.07.1995  
(24) Дата начала действия патента: 24.07.1995  
(30) Приоритет: 12.08.1994 US 08/289,413  
(43) Дата публикации заявки: 10.03.1999  
(46) Дата публикации: 10.03.2001  
(56) Ссылки: US 4996871 A, 05.03.1991. WO 93/21505 A1, 28.10.1993. SU 1739204 A1, 07.06.1992.  
(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 12.03.1997  
(86) Заявка РСТ: US 95/09324 (24.07.1995)  
(87) Публикация РСТ: WO 96/05484 (22.02.1996)  
(98) Адрес для переписки: 119034, Москва, Пречистенский пер. 14, стр.1, 4-ый этаж, "Гоулингз Интернэшнл, Инк.", Клюкину В.А.

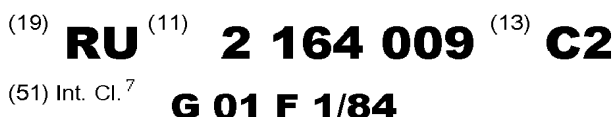
(71) Заявитель:  
**МИКРО МОУШН, ИНК. (US)**  
(72) Изобретатель: **КАРПЕНТЕР Брент Ли (US),  
ЛУНА Антонио Ксавье (US)**  
(73) Патентообладатель:  
**МИКРО МОУШН, ИНК. (US)**  
(74) Патентный поверенный:  
**Клюкин Вячеслав Александрович**

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И КОРРЕКЦИИ ОШИБОК В РАСХОДОМЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА КОРИОЛИСА

(57)  
В процессе работы массового расходомера измеряют значения его текущих рабочих параметров, включающих частоту вибраций и мощность возбуждения. Вычисляют первую и вторую производные измеренных значений рабочих параметров. Выявляют отклонение измеренных значений рабочих параметров и вычисленных производных от пороговых значений, свидетельствующее о наличии нарушения по меньшей мере одного из режимов работы расходомера: недопустимого изменения плотности материала, недопустимого содержания летучей фракции. В зависимости от выявленного нарушения с помощью соответствующих исполнительных средств снижают давление в расходных трубках, регулируют расход материала, протекающего через расходомер, либо прекращают поток в расходомере для

предотвращения вытекания материала через возникшую трещину в расходных трубках. Изобретения обеспечивают простое и надежное выявление различных нарушений режима работы расходомера на эффекте Кориолиса на ранней стадии их возникновения. 2 с. и 10 з.п.ф.-лы, 15 ил.



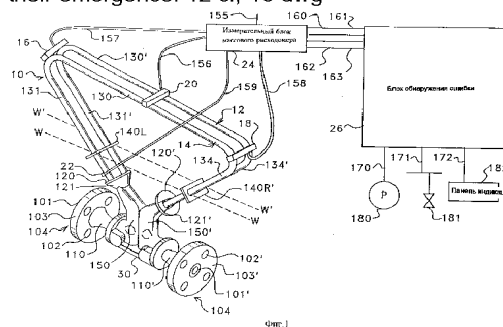


(12) ABSTRACT OF INVENTION

- (71) Applicant:  
**MIKRO MOUShN, INK. (US)**
- (72) Inventor: **KARPENTER Brent Li (US),  
LUNA Antonio Ksav'e (US)**
- (73) Proprietor:  
**MIKRO MOUShN, INK. (US)**
- (74) Representative:  
**Kliukin Vjacheslav Aleksandrovich**

(57) Abstract:

through crack occurred in flow tube with the aid of proper actuating means. EFFECT: simple and reliable exposure of various violations of operational modes of flowmeter based on Coriolis effect at early stage of their emergence. 12 cl, 16 dwg



Изобретение имеет отношение к созданию массовых расходомеров на эффекте Кориолиса, которые используются для измерения расхода материала, протекающего через трубу или трубопровод. Более конкретно, настоящее изобретение имеет отношение к обнаружению и коррекции различных ошибочных состояний, которые могут возникать при работе массового расходомера на эффекте Кориолиса.

Известно использование массовых расходомеров с использованием эффекта Кориолиса для измерения массового расхода и получения другой информации относительно материалов, протекающих по трубопроводу. В настоящее время известны такие расходомеры, например, в соответствии с патентом США N 4491025 на имя Дж. Е. Смита и других, с приоритетом от 1 января 1985 г., и в соответствии с патентом США Re. 31450 на имя Дж.Е. Смита, с приоритетом от 11 февраля 1982 г., в которых имеется одна или несколько расходных трубок изогнутой конфигурации. Массовые расходомеры Кориолиса с использованием прямых расходных трубок также хорошо известны, например, из патента США N 4109524, на имя Дж.Е. Смита, с приоритетом от 29 августа 1978 г. Каждая конфигурация расходной трубки в массовом расходомере Кориолиса имеет набор собственных вибрационных мод, который может относиться к типу простого изгиба, кручения или к смешанному (связанному) типу. Каждый расходный трубопровод приводится в колебательное движение в резонанс на одной из этих собственных мод. Собственные вибрационные моды вибрирующей (колеблющейся), наполненной жидкостью системы определяются частично комбинированной массой расходных трубок и материалом внутри расходных трубок. Жидкость втекает в расходомер из смежного трубопровода на стороне впуска, направляется в расходную трубку или трубки, и вытекает из расходомера в трубопровод, подключенный на выпускной стороне расходомера.

Когда нет потока через расходомер, то все точки вдоль расходной трубки колеблются в одинаковой фазе в результате приложения силы возбуждения. Но как только начнет протекать поток материала, то ускорения Кориолиса приводят к появлению различных фаз для каждой точки вдоль расходной трубки. Фаза на стороне впуска расходной трубки имеет запаздывание относительно фазы возбуждения, в то время как фаза на стороне выпуска имеет опережение относительно фазы возбуждения. На корпусе расходной трубки размещены датчики для выработки синусоидальных сигналов, несущих информацию относительно движения расходной трубки. Разность фаз между двумя сигналами датчиков пропорциональна массовому расходу материала, протекающего через расходную трубку.

Осложняющим фактором при этом измерении является изменение плотности типичных обрабатываемых материалов. Изменения плотности вызывают изменение частот собственных мод. Так как система управления расходомера поддерживает резонанс, при изменении плотности происходит изменение частоты колебаний. В этой ситуации массовый расход

пропорционален отношению разности фаз и частоты колебаний.

В указанном патенте США N Re. 31450 на имя Смита раскрывается расходомер на эффекте Кориолиса, в котором удается избежать необходимости измерения как разности фаз, так и частоты колебаний. Разность фаз в этом расходомере определена путем измерения временной задержки между пересечениями уровня двух синусоидальных сигналов, поступающих от расходомера. При использовании такого метода измерения изменения в частоте колебаний устраняются, а массовый расход становится пропорциональным измеренной временной задержке. Поэтому в последующем изложении этот метод измерения именуется как измерение временной задержки.

Во многих применениях массовых расходомеров Кориолиса материал, который протекает через расходомер и расходные трубки, может быть коррозионным или находиться под высоким давлением. При наличии трещины в расходных трубках такого массового расходомера этот коррозионный материал может вытекать наружу. В таких применениях важно свести к минимуму возможность утечки материала. Одним из способов минимизации такого риска является заключение расходомера в корпус, так чтобы он мог содержать любой материал, который может вытекать в случае потери целостности расходных трубок и их неспособности выдерживать повышенное давление. Такое решение приводит к возникновению многих дополнительных проблем, которые зависят от использованных материалов и рабочих уровней давления. Сложность и высокая стоимость операции заключения в дополнительную оболочку расходных трубок, содержащих коррозионные материалы или материалы под высоким давлением, препятствует использованию такого решения во многих применениях массовых расходомеров Кориолиса.

Вместо того, чтобы помещать расходные трубки в такую оболочку в случае возникновения дефекта, предпочтительно обнаруживать такие дефектные состояния ранее вытекания материала в окружающую среду. Раннее обнаружение такого дефекта позволяет прекратить поток материала до появления его утечки. Были попытки решения этой проблемы путем текущего контроля звуковых волн, излучаемых вибрирующими расходными трубками (акустическая эмиссионная спектроскопия) или путем измерения изменений стойкости расходных трубок (метод электронных отпечатков). Оба этих метода позволяют обнаруживать трещины в расходных трубках, однако эти методы одинаково чувствительны к свойствам поверхности расходных трубок, таким как коррозия. Для того, чтобы при использовании этих методов отличить образование трещины от других поверхностных дефектов, требуется произвести высокочувствительное электронное измерение и квалифицированную интерпретацию результатов измерения. Сложность таких измерений привела к тому, что они мало используются в практических коммерческих применениях расходомеров.

Другой проблемой известных ранее решений является воздух или другой посторонний материал, который инфильтрует

материал, протекающий через массовый расходомер с использованием эффекта Кориолиса. Эти посторонние материалы так ухудшают вибрационные характеристики расходных трубок расходомера, что вычисленный массовый расход становится ошибочным.

В публикации DE-A-4032661 раскрыта система поддержания постоянного расхода через расходомер. В такой системе производится текущий контроль массового расхода и вырабатывается сигнал обратной связи, который управляет электронасосом, поддерживающим постоянный массовый расход.

В публикации WO-A-93/21505 раскрыта система, в которой датчик производит измерение и дает информацию о достоверности такого измерения. Датчик включает в себя преобразователь для выработки сигнала данных и выходных сигналов. Передатчик вырабатывает первый выходной сигнал, связанный со значением переменной. Передатчик также вырабатывает второй выходной сигнал, который основан на анализе динамической неопределенности первого выходного сигнала.

Указанные выше и другие проблемы разрешены в настоящем изобретении, которое включает в себя способы и устройства для обнаружения различных дефектных состояний при работе массового расходомера с использованием эффекта Кориолиса, а также способы и устройства для коррекции этих дефектных состояний. В соответствии с настоящим изобретением обеспечивается достаточно раннее обнаружение трещин в расходных трубках, что позволяет прекращать поток материала ранее его вытекания в окружающее пространство. Кроме того, в соответствии с настоящим изобретением обеспечивается раннее обнаружение и коррекция других состояний, связанных с протекающим материалом, которые могут быть связаны с другими типами отказов системы. Изменения вычисленного массового расхода, плотности материала, летучей фракции или массовой фракции выше порогового значения могут представлять собой отказы системы в некоторых применениях массовых расходомеров. В соответствии с настоящим изобретением предусматриваются способы и устройства для текущего контроля работы массового расходомера с использованием эффекта Кориолиса, что позволяет осуществить раннее обнаружение трещины в расходных трубках или обнаружение упомянутых выше отказов системы. Кроме того, в соответствии с настоящим изобретением предусматриваются способы и устройства для управления потоком материала через расходомер для корректировки обнаруженных дефектов или для прекращения потока материала, чтобы предотвратить вредную утечку протекающего материала.

При нормальной работе расходомера в статических условиях мощность возбуждения, необходимая для создания вибраций расходных трубок, и результирующая резонансная частота вибраций расходных трубок являются постоянными. Изменения требуемой мощности возбуждения или резонансной частоты вибраций расходных трубок указывают на изменение условий, в

которых работает расходомер. Изменения мощности возбуждения или резонансной частоты анализируются при помощи способов и устройств в соответствии с настоящим изобретением для обнаружения трещины в расходных трубках или обнаружения других рабочих аномалий. Каждый обнаруженный при помощи настоящего изобретения дефект создает характерное изменение во времени мощности возбуждения и/или резонансной частоты. Например, изменение массового расхода материала в трубках может приводить к изменению резонансной частоты расходных трубок без существенных изменений в требуемой мощности возбуждения. Однако внезапное изменение резонансной частоты расходных трубок, которое связано с увеличением требуемой мощности возбуждения, является свидетельством образования трещины в расходных трубках. Другие изменения рабочих состояний также являются характеристическими и детектируются (обнаруживаются) в соответствии с настоящим изобретением как рабочие дефекты или аномалии. Индикацией дефекта служат пороговые значения мощности возбуждения и частоты, а также расход и кривизна изменений во времени (первая и вторая производные во времени).

В соответствии с настоящим изобретением предлагается устройство для измерения определенных рабочих параметров массового расходомера с использованием эффекта Кориолиса, в том числе: мощности возбуждения, которая требуется для создания вибрации расходных трубок, и резонансной частоты, на которой расходные трубки колеблются при приложении этой мощности возбуждения. Устройство в соответствии с настоящим изобретением дополнительно вырабатывает выходные сигналы для информирования оператора о наличии определенного дефектного состояния в работе расходомера, а также выходные сигналы для автоматической регулировки или прекращения потока материала через расходомер. Эти последние выходные сигналы поступают на насосы управления и на клапаны, связанные с потоком материала в расходомере.

Кроме того, в соответствии с настоящим изобретением предусматриваются способы определения изменений во времени в измеренных рабочих параметрах. При помощи этих способов определяются мгновенные значения некоторых измеренных рабочих параметров, а также скорости изменения (наклон и кривизна) для каждого измеренного рабочего параметра. При помощи этих способов анализируются текущие значения и изменения измеренных рабочих параметров, для определения наличия определенного дефектного состояния. Каждое обнаруженное в соответствии с настоящим изобретением дефектное состояние опознается в результате единственного сочетания значений и изменений измеренных рабочих параметров. Характеристические значения рабочих параметров, которые свидетельствуют о различных дефектных состояниях, запоминаются в устройстве в соответствии с настоящим изобретением. В зависимости от того, насколько значения и изменения измеренных рабочих параметров совпадают с запомненными характеристическими

значениями, устройством в соответствии с настоящим изобретением вырабатываются упомянутые выше выходные сигналы, которые свидетельствуют о наличии определенного дефектного состояния или применяются для управления потоком материала через расходомер.

В частности, настоящее изобретение позволяет обнаруживать наличие трещин в расходных трубках расходомера Кориолиса. Наличие трещины опознается за счет характеристического снижения резонансной частоты вибрирующих расходных трубок совместно с увеличением мощности возбуждения, которая требуется для создания вибраций расходных трубок. Такое раннее обнаружение трещины позволяет оператору или контуру управления прекратить поток материала или снизить давление в расходной трубке, чтобы предотвратить вредную утечку материала, протекающего в расходомере.

В соответствии с настоящим изобретением опознаются также рабочие состояния, которые могут представлять собой дефекты в некоторых применениях расходомеров, такие как изменения массового расхода, изменения плотности материала, изменение содержания летучей фракции или изменения содержания массовой фракции. Например, увеличение резонансной частоты вибрирующих расходных трубок совместно с увеличением мощности возбуждения указывает на увеличение содержания летучей фракции материала, протекающего в расходомере. В некоторых применениях это может считаться дефектным состоянием, указывающим, например, на избыток образования воздушных пузырьков или карманов в текущем материале или на ошибку на выходе датчика. Выходные сигналы, которые вырабатываются устройством в соответствии с настоящим изобретением, служат для предупреждения оператора, для автоматического прекращения потока или для автоматической регулировки смеси материала, протекающего через трубопровод. Вырабатываются также дополнительные выходные сигналы, которые позволяют автоматически регулировать расход материала для минимизации ошибки за счет увеличенной летучей фракции.

В дополнение к обнаружению дефектных состояний, устройства и способы в соответствии с настоящим изобретением позволяют автоматически производить корректировку измеренного расхода работающего расходомера, чтобы учитывать летучую фракцию или массовую фракцию текущего материала. Информация, запомненная в устройстве в соответствии с настоящим изобретением, используется для вычисления содержания летучей фракции как функции измеренных значений и вычисленных скоростей изменения частоты вибраций и мощности возбуждения. Это вычисленное содержание летучей фракции в сочетании с измеренным расходом затем используется для вычисления процента ошибки. Процент ошибки применяется для вычисления точного массового расхода по измеренному массовому расходу; точные результаты поступают на дисплей оператора или используются при автоматическом управлении расходом, как это обсуждалось выше.

Суммируя, можно сказать, что в соответствии с настоящим изобретением

предусматриваются способы и устройства для раннего обнаружения различных дефектных состояний при работе массового расходомера с использованием эффекта Кориолиса. В соответствии с настоящим изобретением предусматривается обнаружение дефекта и его коррекция с увеличенной надежностью и с меньшей сложностью в сравнении с ранее известными способами и устройствами. В соответствии с настоящим изобретением предусматриваются способы и устройства для автоматической коррекции массового расхода, базируясь на измеренном расходе и вычисленном содержании летучей фракции.

Указанные ранее и другие характеристики изобретения будут более ясны из последующего детального описания, приведенного со ссылкой на сопроводительные чертежи.

На фиг. 1 показан типичный массовый расходомер с использованием эффекта Кориолиса, который содержит устройство для обнаружения дефектов в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 1А показан массовый расходомер с использованием эффекта Кориолиса фиг. 1, который соединен с управляемым насосом и управляемым клапаном в типичной конфигурации применения с замкнутой петлей управления.

На фиг. 2 показаны дополнительные детали блока обнаружения дефектов в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 3 приведен график характеристических кривых частоты и мощности возбуждения в функции времени при наличии трещины в расходных трубках.

На фиг. 4 приведен график характеристических кривых частоты и мощности возбуждения в функции массового расхода в расходных трубках.

На фиг. 5 приведен график характеристических кривых частоты и мощности возбуждения в функции плотности материала, протекающего в расходных трубках.

На фиг. 6 приведен график характеристических кривых частоты и мощности возбуждения в функции потока летучей фракции или шлака для материала, протекающего в расходных трубках.

На фиг. 7 приведен график характеристических кривых частоты и мощности возбуждения в функции массовой фракции материала, протекающего в расходных трубках.

На фиг. 8 приведен график процента ошибки, который следует применить к измеренному массовому расходу для вычисления скорректированного массового расхода.

На фиг. 9 приведена блок-схема перечня операций в соответствии со способом по настоящему изобретению.

На фиг. 10 приведена блок-схема, которая описывает некоторые подробности операций в соответствии с фиг. 9, для осуществления замеров операционных параметров.

На фиг. 11 приведена блок-схема, которая описывает некоторые подробности операций в соответствии с фиг. 9, для осуществления хранения (запоминания) замеренных операционных параметров.

На фиг. 12 приведена блок-схема, которая описывает некоторые подробности операций в

соответствии с фиг. 9, для вычисления наклонов и кривизны изменений запомненных операционных параметров.

На фиг. 13 приведена блок-схема, которая описывает некоторые подробности операций в соответствии с фиг. 9, для проверки расходных трубок с трещиной и соответствующего прекращения потока материала.

На фиг. 14 приведена блок-схема, которая описывает некоторые подробности операций в соответствии с фиг. 9, для вычисления скорректированного на летучую фракцию массового расхода и для соответствующей корректировки потока материала.

На фиг. 15 приведена блок-схема, которая описывает некоторые подробности операций в соответствии с фиг. 9, для проверки других рабочих дефектных состояний и соответствующего управления массовым расходом.

Обратимся теперь к рассмотрению фиг. 1, на которой показан типичный расходомер 10 с использованием эффекта Кориолиса, который имеет две консольно установленные расходные трубки 12, 14, закрепленные в корпусе коллектора 30 таким образом, что они имеют главным образом идентичные жесткости пружины и моменты инерции относительно их соответствующих сдвинутых по фазе осей изгиба W-W и W'-W'.

Катушка возбуждения и магнит 20 установлены в средней области (посредине) между верхними участками 130 и 130' расходных трубок 12, 14 и приводят расходные трубки 12, 14 в колебания со сдвигом по фазе относительно осей W-W и W'-W'. Левый датчик 16 и правый датчик 18 установлены вблизи соответствующих концов верхних участков расходных трубок 12, 14 и предназначены для измерения относительного перемещения расходных трубок 12, 14. Это измерение может производиться различными путями, в том числе путем измерения перемещения верхних концов расходных трубок 12, 14 при помощи измерения момента пересечения нуля или другого заданного уровня их выходного сигнала. Расходные трубки 12, 14 имеют левые боковые ветви 131 и 131' и правые боковые ветви 134 и 134'. Боковые ветви сходятся друг к другу в направлении вниз и закреплены на поверхностях 120 и 120' элементов коллектора 121 и 121'. Скрепляющие штанги 140R и 140L припаяны к ветвям расходных трубок 12, 14 и служат для определения осей W-W и W'-W', относительно которых со сдвигом по фазе колеблются расходные трубки, когда возбудитель 20 запитывается по линии 156. Положение осей W-W и W'-W' определено расположением скрепляющих штанг 140R и 140L на боковых ветвях 131 и 131' и боковых ветвях 134 и 134' расходных трубок.

Датчик температуры 22 установлен на боковой ветви 131 расходной трубки 14 и служит для измерения температуры расходной трубки и ориентировочной температуры материала, протекающего в ней. Эта информация о температуре используется для определения изменений жесткости пружины расходных трубок. Возбудитель 20, датчики 16 и 18 и датчик температуры 22 подключены к измерительному блоку 24 массового расходомера линиями 156, 157, 158

и 159. Измерительный блок 24 массового расходомера может включать в себя микропроцессор, который обрабатывает сигналы, поступающие от датчиков 16 и 18 и датчика температуры 22, для определения скорости массового расхода материала, протекающего через расходомер 10, а также для определения других параметров, таких как плотность и температура материала. Измерительный блок 24 массового расходомера также подает сигнал возбуждения по линии 156 на возбудитель 20 для возбуждения колебаний трубок 12 и 14 со сдвижением по фазе относительно осей W-W и W'-W'.

Корпус коллектора 30 образован отливками 150, 150'. Отливки 150, 150' могут быть подсоединены к питающему трубопроводу и к выходному трубопроводу (не показаны) при помощи фланцев 103, 103'. Корпус коллектора 30 отклоняет поток материала из питающего трубопровода в расходные трубки 12, 14, а затем назад в выходной трубопровод. Когда фланцы коллектора 103, 103' подключены через входной конец 104 и выходной конец 104' к системе трубопроводов (не показана), в которой протекает подлежащий измерению обрабатываемый материал, то этот материал заходит в корпус коллектора 30 и в элемент коллектора 110 через впускное отверстие 101 во фланце 103, которое соединено, при помощи канала (не показан) с постепенно изменяющимся поперечным сечением в элементе отливки 150, с расходными трубками 12, 14. Материал разделяется и направляется элементом коллектора 121 в соответствующие левые ветви 131 и 131' расходных трубок 14 и 12. Затем материал протекает через верхние элементы трубок 130, 130' и далее через правые боковые ветви 134 и 134', а затем объединяется в единый поток внутри элемента коллектора 121'. После этого жидкость (или газ) направляется по каналу (не показан) в выходной отливке 150' к выходному элементу коллектора 110'. Выходной конец 104' подключен фланцем 103', имеющим отверстия под болты 102', с системой трубопроводов (не показана). Материал вытекает через выходное окно 101' и возвращается в систему трубопроводов (не показана).

Блок измерения массового расхода 24 производит анализ сигналов, поступающих по линиям 157, 158 и 159, и вырабатывает по линии 155 стандартные выходные сигналы для индикации массовых расходов, которые используются оператором или системой управления для текущего контроля и управления массовым расходом через связанную с расходомером систему трубопроводов (не показана). Кроме того, блок измерения массового расхода 24 выдает выходные сигналы по линиям 160, 161, 162 и 163, которые указывают соответствующие текущую резонансную частоту, текущую мощность возбуждения, требующуюся для создания вибраций расходных трубок, текущую температуру расходных трубок и вычисленный массовый расход. Эти сигналы поступают на блок обнаружения дефектов 26, в котором производится анализ наличия дефектов в работе расходомера 10. Указанные сигналы (а также другие сигналы, которые получают при работе расходомера

10), далее именуются коллективно или индивидуально "рабочими параметрами".

Блок измерения массового расхода 24 включает в себя стандартные устройства и в нем используются стандартные способы, известные сами по себе. Примером такого блока является модель 9739 дистанционного передатчика потока "Микромоушн". Несмотря на то, что в модели 9739 обычно не вырабатывается выходной сигнал, несущий информацию о мощности возбуждения, специалисты легко поймут, что такой сигнал может быть получен от модели 9739. От модели 9739 обычно может быть получен сигнал частоты, так как ее конструкция такова, что в ней производится измерение плотности материала. Специалист по электронике может легко модифицировать такое устройство для получения соответствующих сигналов, указывающих частоту вибраций расходной трубки и требуемую мощность возбуждения, на проводах, которые идут от блока 24 к блоку обнаружения дефектов 26.

При обнаружении дефектных состояний блок обнаружения дефектов 26 выдает сигналы по линии 170 на насос 180 и по линии 171 на клапан 181 для корректировки массового расхода через расходомер 10 или для прекращения потока материала, чтобы предотвратить его утечку. Насос 180 управляется блоком обнаружения дефектов 26 таким образом, чтобы увеличивать или уменьшать давление на впускном отверстии 101 расходомера 10, чтобы скорректировать обнаруженную ошибку (дефект). Клапан 181 управляется блоком обнаружения дефектов 26 таким образом, чтобы увеличивать или уменьшать обратное давление на выпускном отверстии 101' расходомера 10, чтобы скорректировать обнаруженный дефект. Блок обнаружения дефектов 26 также выдает сигналы по линии 172 для информирования оператора о наличии дефектного состояния, обнаруженного в работе расходомера 10. Поступающие по линии 172 сигналы являются сообщениями, которые индицируются на панели 182 для информирования оператора о необходимости ручного корректирующего действия или для простого информирования оператора, когда корректирующее управление осуществляется самим блоком обнаружения дефектов 26.

Блок обнаружения дефектов 26, например, определяет наличие трещины в расходных трубках путем анализа информации резонансной частоты и мощности возбуждения, полученной по соответствующим линиям 160 и 161. Если в расходных трубках имеется трещина, то блок обнаружения дефектов 26 вырабатывает по линии 170 выходной сигнал для уменьшения давления, создаваемого насосом 180 на впускном отверстии 101 расходомера 10. Это приводит к замедлению или прекращению потока материала через расходные трубки ранее потери давления в результате образования трещины, за счет чего предотвращается утечка материала из расходных трубок 12 и 14.

На фиг. 1А показан расходомер 10 и блок обнаружения дефектов 26 с насосом 180 и клапаном 181, которые подключены в соответствии с наиболее типичным применением расходомера 10. При помощи

насоса 180 материал 192 подается от источника 191 и поступает во впускное отверстие 101 расходомера 10 через трубопровод 190. Впускное давление, создаваемое насосом 180, контролируется блоком обнаружения дефектов 26 при помощи сигналов, которые поступают по линии 170 и позволяют увеличивать или уменьшать скорость насоса 180. Материал, поступающий во впускное отверстие 101 расходомера 10, перемещается через расходомер к выпускному отверстию 101', а затем через трубопровод 190 и далее через клапан 181 к месту назначения. Обратное давление, создаваемое клапаном 181, управляется блоком обнаружения дефектов 26 за счет приложения сигналов, которые поступают по линии 171 и позволяют открывать или закрывать клапан 181.

Специалисты легко поймут, что способы и устройства в соответствии с настоящим изобретением могут быть с успехом применены для любой конфигурации расходомера. Определенная конфигурация расходомера, которая была обсуждена выше со ссылкой на фиг. 1 и 1А, является только примером таких конфигураций расходомера. В частности, конфигурации расходомера, в которых используются прямые расходные трубки, U-образные расходные трубки или расходные трубки сложной (неправильной) формы, с успехом могут быть скомбинированы со способами и устройствами в соответствии с настоящим изобретением для обнаружения и коррекции рабочих дефектных состояний.

На фиг. 2 показаны дополнительные детали компонентов блока обнаружения дефектов 26. Аналоговые сигналы, которые по линиям 160 - 163 поступают от измерительного блока 24 массового расходомера фиг. 1, преобразуются в цифровые величины при помощи аналого-цифровых преобразователей (АЦП) 203 - 206. Выходные сигналы АЦП подаются по линиям 220-223 на обработку в центральном процессоре (ЦП) 200. Сигналы, поступающие на ЦП по линиям 220, 221, 222 и 223, отображают соответственно текущую резонансную частоту вибрирующих расходных трубок, текущую мощность возбуждения, необходимую для создания вибраций расходных трубок, текущую температуру расходных трубок и вычисленный массовый расход.

ЦП 200 производит периодическую выборку цифровых сигналов на линиях 220-223, отображающих текущую частоту, мощность возбуждения, температуру и вычисленный массовый расход. В каждой периодической выборке ЦП 200 усредняет множество значений, поступающих по линиям 220-223, и записывает усредненные значения в буферы ЗУПВ 201 по линии 229. Это усреднение помогает при фильтрации аналогового шумового сигнала, который может присутствовать на линиях 160 - 163. Усредненные значения, отображающие текущую частоту, мощность возбуждения, температуру и вычисленный массовый расход, запоминаются в буферах ЗУПВ 201, выполненных в виде кольца, так что при заполнении буферов самое старое ранее записанное значение переписывается самым новым запоминаемым значением. Кольцевые буферы хранят значения запомненных

рабочих параметров в течение определенного периода времени.

ЦП 200 вычисляет первую и вторую производные во времени для каждого запомненного рабочего параметра, чтобы найти наклон и кривизну любого временного изменения при работе расходомера 10 фиг. 1. ЦП 200 считает запомненные усредненные значения из ЗУПВ 201 по линии 229. Различие между двумя усреднениями, запомненными последовательно во времени, представляет собой наклон изменений данного рабочего параметра (первую производную измеренного рабочего параметра). Далее описан пример такого вычисления, в котором  $f_0$  -  $f_n$  представляют собой запомненные усредненные значения для частоты колебаний расходной трубки в течение N+1 периода считываний ЦП 200, а  $S_1$ - $S_N$  представляют собой вычисленные наклоны для изменений значений  $f_0$  -  $f_n$  для каждого периода измерения.  $S_1 = (f_0 - f_n)$ , или в более общем виде:  $S_x = (f_x - f_{x-1})$ , где  $x = 1...N$ .

Разность между двумя вычисленными наклонами дает кривизну рабочего параметра (вторую производную измеренного рабочего параметра). Пример такого вычисления дан ниже, где  $S_1$  -  $S_N$  представляют собой наклоны для изменений периодически запоминаемых усредненных значений, как это упоминалось ранее, а  $C_2$ - $C_N$  представляют собой вычисленные значения кривизны для изменений  $S_1$ - $S_N$ .  $C_2 = (S_2 - S_1)$  или в более общем виде:  $C_x = (S_x - S_{x-1})$ , где  $x = 2...N$ .

ПЗУ 202 содержит характеристические пороговые величины ("автографы") для каждого дефекта, который может быть обнаружен в соответствии с настоящим изобретением. Запомненная информация связана с пороговыми величинами для текущих значений рабочих параметров, а также с пороговыми величинами для наклона и кривизны изменений рабочих параметров. Эта информация записана для каждого рабочего дефекта, который может быть обнаружен при помощи устройств и способов в соответствии с настоящим изобретением. Характеристические пороги являются единственными для частных характеристик расходомера, номинальных физических свойств протекающего через расходомер материала и номинальных расходов протекающего через расходомер материала. Эти пороговые значения заданы пользователем или изготовителем расходомера и запрограммированы в ПЗУ 202. В соответствии с альтернативным вариантом, ЦП 200 может копировать эти величины из ПЗУ 202 в ЗУПВ 201 и вступать в диалог с оператором для изменения значений этих порогов для частного случая применения расходомера.

В ПЗУ 202 содержится также дополнительная информация, заданная при изготовлении или установке расходомера 10, относящаяся к коррекции измеренного массового расхода с учетом обнаруженных изменений в летучей фракции материала. Как указано далее, увеличение содержания летучей фракции создает погрешности измерения массового расхода. Коэффициент ошибки (процент ошибки) может быть определен в соответствии со способами настоящего изобретения с использованием

характеристической информации, в которой процент ошибки закодирован как функция измеренного массового расхода и вычисленной летучей фракции. Указанная информация, отображающая соотношения между измеренным массовым расходом, вычисленной летучей фракцией и результирующим процентом ошибки, является уникальной (единственной) для данного расходомера 10 и данного вида его применения. Эта информация запоминается в ПЗУ 202 совместно с характеристическими пороговыми значениями ошибки. Способы в соответствии с настоящим изобретением, в которых используется эта информация для корректировки измеренного массового расхода, обсуждаются далее.

ЦП 200 производит сравнение запомненных усредненных значений рабочих параметров, вычисленных наклонов и вычисленных значений кривизны с соответствующими пороговыми значениями, которые считываются по линии 228 из памяти ПЗУ 202. Считываемая информация содержит специфические пороговые значения для рабочих параметров, вычисленных наклонов и вычисленных значений кривизны и указывает наличие определенного дефектного состояния в работе расходомера 10 фиг. 1. ЦП 200 производит сравнение характеристической пороговой информации, считываемой с ПЗУ 202, с соответствующими усредненными величинами в ЗУПВ для частоты, мощности возбуждения, температуры и измеренного массового расхода. ЦП 200 также производит сравнение пороговых значений в ПЗУ 202 с вычисленными наклонами и значениями кривизны для каждого параметра. В результате таких сравнений определяют наличие одного из различных дефектных состояний в работе расходомера 10 фиг. 1. Способы, которые применяются при осуществлении такого сравнения, далее обсуждаются более подробно.

ЦП 200 при обнаружении дефектного состояния выдает сигналы по линии 170 для управления скоростью насоса 180 и выдает сигналы по линии 171 для управления открыванием или закрыванием клапана 181. Кроме того, ЦП 200 индицирует сообщения на панели 182 по линии 172 для информирования оператора о статусе работы расходомера 10 и об управлении им. Как это описано далее, когда ЦП 200 обнаруживает трещину в расходной трубке 12 или 14 расходомера 10, он подает сигнал на насос 180 и клапан 181 для прекращения потока материала и снятия давления с расходомера 10. Аналогично, ЦП 200 может изменить расход для компенсации других дефектных состояний, которые связаны с ошибочным массовым расходом, с ошибочной плотностью материала, с ошибочным содержанием летучей фракции или с ошибочным содержанием массовой фракции. Каждое из указанных ошибочных состояний определяется в ЦП 200 путем сравнения характеристической пороговой информации, запомненной в ПЗУ 202, со значением текущего параметра, запомненным в ЗУПВ, и с вычисленными наклонами и значениями кривизны для каждого параметра, как это обсуждалось выше. Каждое ошибочное состояние определено набором пороговых значений, запомненных в ПЗУ 202. Эти пороговые значения связаны с текущими



значениями различных рабочих параметров, а также с наклоном и кривизной изменений указанных различных рабочих параметров.

На фиг. 3 приведен график, описывающий типичные изменения резонансной частоты вибрирующих расходных трубок и изменения мощности возбуждения, которая необходима для создания вибраций расходных трубок, в случае образования трещины и ее роста в стенке расходной трубки. По оси абсцисс графика фиг. 3 отложено время в секундах. Кривая 300 "Давление" имеет свою собственную шкалу ординат, отложенную с левой стороны графика. Эта кривая 300 отображает изменение давления в расходных трубках во времени при росте трещины в расходных трубках. Как это можно видеть на графике, давление внутри расходных трубок остается постоянным до времени 180 секунд, отмеченного штриховой линией 312. В этой точке давление начинает падать в результате вытекания потока материала через трещину в стенках расходной трубки.

Кривая 301 "Мощность возбуждения" также имеет свою собственную шкалу ординат слева от графика. Кривая 301 отображает мощность возбуждения, которая необходима для создания вибраций расходных трубок на резонансной частоте. Кривая 302 "Частота" также имеет свою шкалу ординат справа от графика. Кривая 302 отображает изменения резонансной частоты вибраций расходных трубок. Мощность возбуждения и частота остаются относительно постоянными при образовании трещины и начале ее роста в течение ориентировочно 80 секунд, что показано штриховой линией 310. В этот момент кривая частоты 302 начинает падать, а кривая мощности возбуждения 301 начинает расти. В этот момент времени 80 секунд, обозначенный линией 310, ЦП 200 может обнаружить начало роста трещины в расходных трубках в результате совпадения снижения частоты и увеличения мощности возбуждения с соответствующей характеристической информацией, запомненной в ПЗУ 202. Нелинейное нарастание требуемой мощности возбуждения по кривой 301 и нелинейное падение резонансной частоты по кривой 302 являются характерными для образования трещины в расходных трубках расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. Как можно видеть из сравнения кривых 300, 301 и 302 фиг. 3, способы в соответствии с настоящим изобретением позволяют обнаруживать образование трещины в расходных трубках 12 или 14 в момент времени 80 секунд (линия 310), намного раньше падения давления в расходных трубках 12 или 14 в момент времени 180 секунд (линия 312).

Характерное изменение рабочих параметров при образовании трещины, описанное на фиг. 3 и обсуждавшееся выше, четко отличается от изменений массового расхода материала нормально работающего расходомера (как это описано на фиг. 4). На фиг. 4 показаны изменения рабочих параметров расходомера при нормальных изменениях массового расхода материала через расходомер. По оси абсцисс фиг. 4 отложен массовый расход материала, протекающего через расходные трубки расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. Кривая 401 "Мощность возбуждения" имеет

собственную шкалу ординат слева от графика. Кривая 401 отображает мощность возбуждения, которая необходима для создания вибраций расходных трубок на резонансной частоте. Кривая 402 "Частота" также имеет свою шкалу ординат справа от графика. Кривая 402 отображает изменения резонансной частоты вибраций расходных трубок. Как показано на кривых фиг. 4, при нормальной работе расходомера мощность возбуждения остается постоянной при возрастании массового расхода, в то время как при возрастании массового расхода резонансная частота падает. Постоянство мощности возбуждения по кривой 401 и нелинейное уменьшение резонансной частоты по кривой 402 являются характерными при возрастании расхода в расходных трубках расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. В отличие от этого, постоянство мощности возбуждения в сочетании с нелинейным возрастанием резонансной частоты является характерным при снижении расхода в расходных трубках расходомера.

На фиг. 5 описаны характерные изменения рабочих параметров расходомера при нормальных изменениях плотности материала, протекающего через расходомер. По оси абсцисс фиг. 5 отложена плотность материала, протекающего через расходные трубки расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. Кривая 501 "Мощность возбуждения" имеет собственную шкалу ординат слева от графика. Кривая 501 отображает мощность возбуждения, которая необходима для создания вибраций расходных трубок на резонансной частоте. Кривая 502 "Частота" также имеет свою шкалу ординат справа от графика. Кривая 502 отображает изменения резонансной частоты вибраций расходных трубок. Как показано на кривых фиг. 5, при нормальной работе расходомера мощность возбуждения остается постоянной при возрастании плотности материала, в то время как при возрастании плотности материала резонансная частота падает. Постоянство мощности возбуждения по кривой 501 и нелинейное уменьшение резонансной частоты по кривой 502 являются характерным при возрастании плотности материала в расходных трубках расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. В отличие от этого, постоянство мощности возбуждения в сочетании с нелинейным возрастанием резонансной частоты является характерным при снижении плотности материала в расходных трубках расходомера.

Характерное изменение рабочих параметров при образовании трещины, описанное на фиг. 3 и обсуждавшееся выше, четко отличается от изменений плотности материала нормально работающего расходомера (как это описано на фиг. 5). Постоянство мощности возбуждения по кривой 501 фиг. 5 четко отличимо для ЦП 200 от имеющей положительный наклон возрастающей мощности возбуждения по кривой 301 фиг. 3. Для того, чтобы отличить изменение плотности материала фиг. 5 от изменения расхода фиг. 4, ЦП 200 детектирует отрицательную кривизну (вторая производная) кривой частоты 402 фиг. 4 от положительной кривизны кривой частоты 502 фиг. 5. Характеристическая информация, запомненная в ПЗУ 202 для ошибочного

состояния расхода и для ошибочного состояния плотности материала, позволяя ЦП 200 сравнивать кривизну (вторую производную) рабочей частоты для определения конкретного ошибочного состояния.

На фиг. 6 описаны характерные изменения рабочих параметров расходомера при нормальных изменениях летучей фракции материала, протекающего через расходомер. Летучей фракцией именуется содержание воздуха или газа в материале, протекающем через расходомер. По оси абсцисс фиг. 6 отложены проценты летучей фракции материала, протекающего через расходные трубки расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. Кривая 601 "Мощность возбуждения" имеет собственную шкалу ординат слева от графика. Кривая 601 отображает мощность возбуждения, которая необходима для создания вибраций расходных трубок на резонансной частоте. Кривая 602 "Частота" также имеет свою шкалу ординат справа от графика. Кривая 602 отображает изменения резонансной частоты вибраций расходных трубок. Как показано на кривых фиг. 6, при нормальной работе расходомера при возрастании летучей фракции как мощность возбуждения, так и резонансная частота возрастают. Увеличение мощности возбуждения по кривой 601 и возрастание резонансной частоты по кривой 602 являются характерными при возрастании содержания летучей фракции материала в расходных трубках расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. В отличие от этого, уменьшение мощности возбуждения в сочетании с уменьшением резонансной частоты являются характерными при снижении содержания летучей фракции в расходных трубках расходомера.

На фиг. 7 описаны характерные изменения рабочих параметров расходомера при нормальных изменениях массовой фракции материала, протекающего через расходомер. Массовой фракцией именуется содержание более тяжелых компонент материала, протекающего через расходомер. По оси абсцисс фиг. 7 отложены проценты массовой фракции материала, протекающего через расходные трубки расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. Кривая 701 "Мощность возбуждения" имеет собственную шкалу ординат слева от графика. Кривая 701 отображает мощность возбуждения, которая необходима для создания вибраций расходных трубок на резонансной частоте. Кривая 702 "Частота" также имеет свою шкалу ординат справа от графика. Кривая 702 отображает изменения резонансной частоты вибраций расходных трубок. Как показано на кривых фиг. 7, при нормальной работе расходомера при возрастании массовой фракции мощность возбуждения возрастает, в то время как резонансная частота падает. Линейное увеличение мощности возбуждения по кривой 701 и линейное уменьшение резонансной частоты по кривой 702 являются характерными при возрастании содержания массовой фракции материала в расходных трубках расходомера, такого как расходомер 10 фиг. 1. В отличие от этого, линейное уменьшение мощности возбуждения в сочетании с линейным увеличением резонансной частоты являются характерными

при снижении содержания массовой фракции в расходных трубках расходомера.

Для того, чтобы отличить характерное изменение массовой фракции фиг. 7 от изменения в случае образования трещины фиг. 3, ЦП 200 должен обнаружить различную кривизну (вторую производную) кривых частоты 302 фиг. 3 и 702 фиг. 7. Альтернативно, ЦП 200 должен обнаружить различную кривизну (вторую производную) кривых мощности возбуждения 301 фиг. 3 и 701 фиг. 7. Характеристическая информация, запомненная в ПЗУ 202 для дефектного состояния с трещиной и для ошибочного состояния массовой фракции, позволяет ЦП 200 сравнивать кривизну (вторую производную) рабочей частоты или мощности возбуждения для определения конкретного одного из двух ошибочных состояний.

Точные характеристические значения пороговых значений, наклонов и значений кривизны рабочих параметров, которые свидетельствуют о конкретном дефекте, являются единственными для каждого конкретного расходомера и номинального состава материала, расхода и давлений в расходомере. Указанные конкретные значения определяют путем испытаний при изготовлении расходомера и заносят в память ПЗУ 202. Специалисты в данной области легко поймут, что характеристические пороговые значения могут быть скопированы в ЗУПВ 201 или в ЦП 200, а затем изменены для конкретного вида применения расходомера.

Шкалы по оси ординат фиг. 3 - 7 выражены в процентном изменении рабочего параметра. Специалисты в данной области легко поймут, что пороговая информация может быть выражена также и в абсолютных значениях. Обсуждающиеся далее способы в соответствии с настоящим изобретением выражены в терминах сравнения абсолютных пороговых значений.

На фиг. 8 приведен график информации, которая используется совместно с информацией, приведенной на фиг. 6, для вычисления скорректированного массового расхода. Точность измеренного блоком измерения массового расхода падает при увеличении содержания летучей фракции материала, протекающего через расходомер 10. Летучая фракция, как это было указано выше, отражает содержание более легких составляющих материала, таких как воздух, смешанных с материалом, протекающим через расходомер 10. На фиг. 6 показана характерная информация, которая позволяет определить, как конкретно изменяются частота и мощность возбуждения при возрастании содержания летучей фракции, а именно: при возрастании содержания летучей фракции частота растет линейно в сочетании с возрастанием мощности возбуждения, имеющим положительную кривизну.

В дополнение к другой информации, которая обсуждается ниже, характеристическая информация, запомненная в ПЗУ 202, включает в себя кодирование информации о летучей фракции, показанной на графиках фиг. 6. Информация о летучей фракции используется в соответствии со способами по настоящему изобретению для определения текущего процентного содержания летучей фракции в функции измеренной частоты и мощности возбуждения.

Информация о летучей фракции фиг. 6 закодирована в памяти ПЗУ совместно с характеристической информацией как коэффициенты полиномиальных уравнений, описывающих кривые фиг. 6, или в табличной форме, причем эта информация используется для интерполяции летучей фракции из значений частоты и мощности возбуждения. Как это описано далее со ссылкой на фиг. 14, информация о летучей фракции, запомненная в ПЗУ 202, используется для вычисления содержания летучей фракции по результатам измерений частоты и мощности возбуждения. Специалисты в данной области легко поймут, что табличное кодирование функций, показанных на фиг. 6, является предпочтительным для использования с дешевыми микропроцессорами, которые обладают ограниченной мощностью математических вычислений.

Информация, показанная на графиках фиг. 8, использована для вычисления коэффициента корреляции ошибки (процентного содержания ошибки) и может быть применена для вычисления скорректированного массового расхода по измеренному массовому расходу. На фиг. 8 показаны 6 примерных графиков процента ошибки в функции измеренного массового расхода. Каждая из шести кривых имеет обозначение содержания летучей фракции, вычисленной, как указано выше, с использованием информации фиг. 6, и запомненной в ПЗУ 202 вместе с характеристической информацией. Например, если нашли, что содержание летучей фракции превышает 1, 5%, то

используется кривая фиг. 8 с обозначением 1, 5 для определения коэффициента корреляции ошибки (процента ошибки), который должен быть применен для данного массового расхода. При использовании кривой 1, 5 и измеренного массового расхода может быть определен процент ошибки, как это показано на фиг. 8.

В дополнение к другой информации, которая обсуждается ниже, характеристическая информация, запомненная в ПЗУ 202, включает в себя кодирование информации о проценте ошибки, показанной на графиках фиг. 8. Информация о проценте ошибки используется в соответствии со способами по настоящему изобретению для определения текущего процента ошибки в функции измеренного расхода и вычисленной летучей фракции. Информация о проценте ошибки фиг. 8 закодирована в памяти ПЗУ совместно с характеристической информацией как коэффициенты полиномиальных уравнений, описывающих кривые фиг. 8, или в табличной форме, причем эта информация используется для интерполяции процента ошибки из значений измеренного расхода и вычисленной летучей фракции. Как это описано далее со ссылкой на фиг. 14, информация о проценте ошибки, запомненная в ПЗУ 202, используется для вычисления скорректированного массового расхода. Специалисты в данной области легко поймут, что табличное кодирование функций, показанных на фиг. 8, является предпочтительным для использования с дешевыми микропроцессорами, которые обладают ограниченной мощностью математических вычислений.

Характеристическая пороговая информация, запомненная в ПЗУ 202 фиг. 2, используется в ЦП 200 для осуществления сравнения с текущими значениями рабочих параметров наклонов и значений кривизны. Формат пороговой информации легче всего может быть понят при его выражении в виде структуры данных языка высокого уровня программирования, такого как "C". Следует иметь в виду, что это выражение является только примером представления характеристической пороговой информации в памяти ПЗУ 202. Множество эквивалентных форм представления указанной пороговой информации не выходит за рамки настоящего изобретения и соответствуют его духу. Пороговая информация отображает номинальные значения нормально работающего расходомера путем задания верхнего и нижнего порогов различных рабочих параметров, наклонов рабочих параметров, а также кривизны наклонов. Эти пределы закодированы для каждого из многих ошибочных состояний, которые могут быть обнаружены способами в соответствии с настоящим изобретением. Если текущие значения параметров, их наклон и значения их кривизны находятся в рамках указанных пределов, то тогда ошибочного состояния нет.

```

struct reference_data {
    float NOMINALP - /*номинальная мощность
    возбуждения для применения*/;
    float NOMINALF - /*номинальная частота
    для применения*/;
    float MAXM - /*максимальный
    скорректированный массовый расход*/;
    float MINM - /*минимальный
    скорректированный массовый расход*/;
    struct crack_detection_info {
        /*
        *Трещины указаны нарастанием мощности
        возбуждения с
        *положительной кривизной и связаны со
        снижением частоты с
        *отрицательной кривизной.
        */
        float MAXP - /*Максимальная мощность
        возбуждения*/;
        float MINF - /*Минимальная частота*/;
        float MAXPSLOPE - /*Максимальный наклон
        мощности возбуждения*/;
        float MINFSLOPE - /*Минимальный наклон
        частоты*/;
        float MAXCURV - /*Максимальная кривизна
        мощности возбуждения*/;
        float MINFCURV - /*Минимальная кривизна
        частоты*/;
    } CRACK;
    struct flow_correction_info {
        /*
        *Табличное представление характерных
        кривых фиг. 6.
        */
        float - /*Таблица для вычисления летучей
        фракции*/;
        VOID_FRACTION[];
        /*
        *Таблица, описывающая график фиг. 8;
        */
        float ERROR_PERCENT[] - /*Таблица для
        вычисления процента ошибки*/;
    }

```

```

}MASS_CORRECT;
int NUMFAULTS - /*Число других
детектируемых ошибок*/
struct other_fault_info {
/*
*Каждая "другая" обнаруженная ошибка
имеет следующие
*поля, которые могут быть установлены
соответствующим
*образом для частного вида применения
расходомера.
*Например, если параметр MAXimum не
применим для
*детектирования определенного дефекта,
то он устанавливается
*в состояние +INFINITY. Аналогично, если
параметр MINimum
*не является необходимым, то он
устанавливается на
*_INFINITY.
*/
float MAXF - /*Максимальная частота*/;
float MAXP - /*Максимальная мощность
возбуждения*/;
float MAXT - /*Максимальная температура*/;
float MAXM - /*Максимальный измеренный
массовый расход*/;
float MINF - /*Минимальная частота*/;
float MINP - /*Минимальная мощность
возбуждения*/;
float MINT - /*Минимальная температура*/;
float MINM - /*Минимальный измеренный
массовый расход*/;
float MAXFSLOPE - /*Максимальный наклон
частоты*/;
float MAXPSLOPE - /*Максимальный наклон
мощности возбуждения*/;
float MAXTSLOPE - /*Максимальный наклон
температуры*/;
float MAXMSLOPE - /*Максимальный наклон
массового расхода*/;
float MINFSLOPE - /*Минимальный наклон
частоты*/;
float MINPSLOPE - /*Минимальный наклон
мощности возбуждения*/;
float MINTSLOPE - /*Минимальный наклон
температуры*/;
float MINMSLOPE - /*Минимальный наклон
массового расхода*/;
float MAXFCURV - /*Максимальная
кривизна частоты*/;
float MAXPCURV - /*Максимальная
кривизна мощности возбуждения*/;
/*Максимальная кривизна температуры*/;
float MAXTCURV - /*Максимальная
кривизна массового расхода*/;
float MAXMCURV - /*Минимальная кривизна
частоты*/;
float MINFCURV - /*Минимальная кривизна
мощности возбуждения*/;
float MINPCURV - /*Минимальная кривизна
температуры*/;
float MINTCURV - /*Минимальная кривизна
массового расхода*/;
float MINMCURV;
/*
*Если обнаружена ошибка, отображаемая

```

указанными  
\*характерными значениями, то следующие  
поля определяют  
\*действия, которые следует предпринять  
для насоса, клапана и  
\*панели дисплея.  
\*/  
float PUMPCHANGE - /\*Для корректировки  
установить определенную скорость насоса\*/;  
float VALVECHANGE - /\*Для корректировки  
установить клапан в определенное  
положение\*/;  
char \*DISPLAY -/\* Выдача сообщения на  
дисплей\*/.  
} FAULT[MAXFAULTS];  
} REF;  
В способах в соответствии с настоящим  
изобретением используется  
характеристическая информация, описанная  
выше, для обнаружения и проведения  
коррекции различных ошибочных состояний.  
На фиг. 9 приведена блок-схема способов в  
соответствии с настоящим изобретением.  
Элементы фиг. 9 описывают способы в  
соответствии с настоящим изобретением как  
высокий уровень. Дальнейшие чертежи и  
связанное с ними описание дают  
дополнительные детали относительно работы  
индивидуальных элементов фиг. 9.  
Элемент 900 дает выборки текущих  
рабочих параметров расходомера 10 для  
подготовки анализа работы расходомера. Этот  
элемент 900 описан далее более подробно со  
ссылкой на фиг. 10.  
Элемент 902 использован для  
запоминания выборок, полученных элементом  
900, в кольцевом буфере в ЗУПВ 201. Этот  
элемент 902 описан далее более подробно со  
ссылкой на фиг. 11.  
Элемент 904 использован для вычисления  
наклона и кривизны изменений рабочих  
параметров, выборки которых получены  
элементом 900 и занесены в память ЗУПВ 201  
при помощи элемента 902. Как самые свежие  
выборки, так и ранее запомненные выборки в  
кольцевом буфере ЗУПВ 201, используются  
для определения наклона и кривизны  
изменений рабочих параметров во времени.  
Элемент 904 описан далее более подробно со  
ссылкой на фиг. 12.  
Элемент 906 использован для  
определения начала образования трещины в  
расходных трубках 12 и 14 расходомера 10.  
При помощи элемента 906 производится  
анализ текущих выбранных рабочих  
параметров, а также наклонов и кривизны,  
вычисленных при помощи элемента 904, для  
обнаружения образования трещины в  
расходных трубках 12 и 14. Если трещина  
обнаружена, то элемент 906 управляет  
прекращением потока материала через  
расходомер 10 и снимает давление с  
расходных трубок 12 и 14. Элемент 906 описан  
далее более подробно со ссылкой на фиг. 13.  
Элемент 908 использован для вычисления  
скорректированного массового расхода через  
расходомер 10 путем компенсации  
измеренного массового расхода при помощи  
обнаруженной летучей фракции материала,  
протекающего в расходных трубках 12 и 14.  
Если значение скорректированного массового  
расхода находится вне допустимых пределов,  
то элемент 908 производит регулировку  
вычисленного расхода через расходомер 10.

Элемент 908 описан далее более подробно со ссылкой на фиг. 14.

Элемент 910 использован для сравнения выбранных рабочих параметров, а также вычисленных наклонов и кривизны изменений рабочих параметров, с соответствующей характеристической информацией, запомненной в ПЗУ 202. Если любая характеристическая информация дефекта совпадает с соответствующей измеренной или вычисленной информацией, то тогда предпринимаются корректирующие действия, записанные в ПЗУ 202 совместно с характеристической информацией, для решения проблемы и для уведомления оператора о наличии дефекта. Элемент 910 описан далее более подробно со ссылкой на фиг. 15.

Элемент 912 использован для задержки осуществления способов в соответствии с настоящим изобретением до следующего периода выборки. Это обеспечивает периодичность выборок и анализа рабочих параметров расходомера 10. Обработка в соответствии со способом продолжается в элементе 900. Указанный способ периодически прибегает к обработке в элементах 900 - 912 для текущего контроля работы расходомера 10 с целью обнаружения и коррекции рабочих ошибок.

На фиг. 10 показана блок-схема, описывающая дополнительные детали работы указанного выше элемента 900. Элементы фиг. 10 использованы для выборки рабочих параметров расходомера 10. В частности, при работе элементов фиг. 10 производится выборка частоты, мощности возбуждения, температуры и измеренного массового расхода, которые запоминаются в ЗУПВ 201 в виде соответствующих (усредненных) переменных F, P, T и M. Усреднение трех последовательных показаний позволяет снизить воздействие шумов на аналоговые сигналы, получаемые от блока 24 массового расходомера по линиям 160 - 163. Запомненные в ЗУПВ 201 переменные S1, S2 и S3 использованы для временного хранения трех последовательных показаний каждого рабочего параметра.

Элемент 1000 использован для считывания трех последовательных значений частоты по линии 220 для получения соответствующих переменных S1, S2 и S3.

Элемент 1002 использован для вычисления усредненного значения частоты путем сложения переменных S1, S2 и S3 и деления суммы на 3. Затем усредненная частота запоминается в виде переменной F для дальнейшей обработки в других элементах.

Элемент 1004 использован для считывания трех последовательных значений мощности возбуждения по линии 221 для получения соответствующих переменных S1, S2 и S3.

Элемент 1006 использован для вычисления усредненного значения мощности возбуждения путем сложения переменных S1, S2 и S3 и деления суммы на 3. Затем усредненная мощность возбуждения запоминается в виде переменной P для дальнейшей обработки в других элементах.

Элемент 1008 использован для считывания трех последовательных значений температуры по линии 222 для получения

соответствующих переменных S1, S2 и S3.

Элемент 1010 использован для вычисления усредненного значения температуры путем сложения переменных S1, S2 и S3 и деления суммы на 3. Затем усредненная температура запоминается в виде переменной T для дальнейшей обработки в других элементах.

Элемент 1012 использован для считывания трех последовательных значений измеренного массового расхода по линии 223 для получения соответствующих переменных S1, S2 и S3.

Элемент 1014 использован для вычисления усредненного значения измеренного массового расхода путем сложения переменных S1, S2 и S3 и деления суммы на 3. Затем усредненный измеренный массовый расход запоминается в виде переменной M для дальнейшей обработки в других элементах. Это завершает обработку, которая производится в элементах фиг. 10 и, следовательно, в элементе 900 фиг. 9. Обработка продолжается в элементе 902 фиг. 9.

На фиг. 11 показана блок-схема, описывающая дополнительные детали работы указанного выше элемента 902. В частности, элементы фиг. 11 использованы для хранения усредненных значений рабочих параметров, вычисленных при работе элемента 900 фиг. 9, в кольцевых буферах ЗУПВ 201 фиг. 2. Величины для текущего периода выборки и периода предыдущей выборки, запомненные в кольцевых буферах, используются в последующих элементах для дальнейшей обработки.

Элемент 1100 использован для хранения значений усредненного рабочего параметра, найденных при работе элемента 900 фиг. 9. NEXT является переменной, запомненной в ЗУПВ 201, которая используется как кольцевой показатель в решетках параллельных кольцевых буферов FARRAY, PARRAY, TARRAY и MARRAY. Данные кольцевых буферов также хранятся в ЗУПВ 201. В частности, каждое из значений F, P, T и M хранится соответственно в элементах FARRAY, PARRAY, TARRAY и MARRAY, указанных переменной текущей величиной NEXT.

Элемент 1102 использован для создания приращения переменной NEXT кольцевым образом, применяя функцию modulo (модуль) с MAXSAMPLES. MAXSAMPLES представляет собой максимальное число выборок, которые могут быть запомнены в решетках кольцевых буферах, которые упоминались ранее для элемента 1100. Это завершает обработку в элементах фиг. 11 и, следовательно, в элементе 902 фиг. 9. Обработка продолжается в элементе 904 фиг. 9.

На фиг. 12 показана блок-схема, описывающая дополнительные детали работы указанного выше элемента 904. В частности, элементы фиг. 12 использованы для вычисления наклона (первой производной по времени) и кривизны (второй производной по времени) изменений каждого запомненного усредненного рабочего параметра. Переменные, которые использованы для запоминания вычисленного наклона и кривизны изменений каждого усредненного рабочего параметра, запоминаются в памяти ЗУПВ 201.

Элемент 1200 вычисляет показатели в решетках кольцевых буферов FARRAY, PARRAY, TARRAY и MARRAY для трех последующих усредненных значений, которые занесены в кольцевые буферы в результате работы описанного выше элемента 902. Арифметический модуль, как это описано выше, использован для вычисления значений переменных PREV1, PREV 2 и PREV3, которые являются показателями для трех последующих усредненных значений. PREV1, PREV2 и PREV3 вычисляются как текущее значение NEXT минус 1, 2 и 3 соответственно.

Элемент 1202 использован для вычисления наклона и кривизны изменений каждого запомненного усредненного рабочего параметра частоты. FSLOPE и FCURV являются переменными в памяти ЗУПВ 201 фиг. 2, в которой хранятся наклон и кривизна. FSLOPE вычисляют как разность двух последних усредненных значений частоты, запомненных в FARRAY [PREV1] и в FARRAY [PREV2]. Предполагается, что временная база для скорости изменений рабочего параметра равна одной единице времени, равной периоду выборки, использованному для осуществления выборки рабочих параметров в элементе 912 фиг. 9, как это описано выше. FCURV является разностью двух вычисленных наклонов двух прошедших временных периодов. В частности,  $FCURV = (FARRAY [PREV1] - FARRAY [PREV2]) - (FARRAY [PREV2] - FARRAY [PREV3])$ .

Элемент 1204 использован для вычисления наклона и кривизны изменений каждого запомненного усредненного рабочего параметра мощности возбуждения. PSLOPE и PCURV являются переменными в памяти ЗУПВ 201 фиг. 2, в которой хранятся наклон и кривизна. PSLOPE вычисляют как разность двух последних усредненных значений мощности возбуждения, запомненных в PARRAY [PREV1] и в PARRAY [PREV2]. Предполагается, что временная база для скорости изменений рабочего параметра равна одной единице времени, равной периоду выборки, использованному для осуществления выборки рабочих параметров в элементе 912 фиг. 9, как это описано выше. PCURV является разностью двух вычисленных наклонов двух прошедших временных периодов. В частности,  $PCURV = (PARRAY [PREV1] - PARRAY [PREV2]) - (PARRAY [PREV2] - PARRAY [PREV3])$ .

Элемент 1206 использован для вычисления наклона и кривизны изменений каждого запомненного усредненного рабочего параметра температуры. TSLOPE и TCURV являются переменными в памяти ЗУПВ 201 фиг. 2, в которой хранятся наклон и кривизна. TSLOPE вычисляют как разность двух последних усредненных значений температуры, запомненных в TARRAY [PREV1] и в TARRAY [PREV2]. Предполагается, что временная база для скорости изменений рабочего параметра равна одной единице времени, равной периоду выборки, использованному для осуществления выборки рабочих параметров в элементе 912 фиг. 9, как это описано выше. TCURV является разностью двух вычисленных наклонов двух прошедших временных периодов. В частности,  $TCURV = (TARRAY [PREV1] - TARRAY [PREV2]) - (TARRAY [PREV2] - TARRAY [PREV3])$ .

Элемент 1208 использован для вычисления наклона и кривизны изменений каждого запомненного усредненного рабочего параметра измеренного массового расхода. MSLOPE и MCURV являются переменными в памяти ЗУПВ 201 фиг. 2, в которой хранятся наклон и кривизна. MSLOPE вычисляют как разность двух последних усредненных значений измеренного массового расхода, запомненных в MARRAY [PREV1] и в MARRAY [PREV2]. Предполагается, что временная база для скорости изменений рабочего параметра равна одной единице времени, равной периоду выборки, использованному для осуществления выборки рабочих параметров в элементе 912 фиг. 9, как это описано выше. MCURV является разностью двух вычисленных наклонов двух прошедших временных периодов. В частности,  $MCURV = (MARRAY [PREV1] - MARRAY [PREV2]) - (MARRAY [PREV2] - MARRAY [PREV3])$ . Это завершает обработку в элементах фиг. 12 и, следовательно, в элементе 904 фиг. 9. Обработка продолжается в элементе 906 фиг. 9.

На фиг. 13 показана блок-схема, описывающая дополнительные детали работы указанного выше элемента 906. В частности, элементы фиг. 13 использованы для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14 расходомера 10. Обнаружение трещины производят сравнением текущих значений выбранных рабочих параметров, вычисленных наклонов и вычисленной кривизны для частоты и мощности возбуждения, с запомненной в ПЗУ 202 характеристической информацией. Описанная выше структура REF. CRACK содержит соответствующие пределы для данного расходомера 10 в его конкретном показанном на фиг. 1А применении. Возрастающая с положительной кривизной мощность возбуждения в сочетании с уменьшающейся с отрицательной кривизной частотой свидетельствуют о наличии трещины в расходных трубках 12 и 14.

Элемент 1300 использован для сравнения выборки мощности возбуждения P, вычисленной при работе элемента 900, с указанным выше REF. CRACK. MAXP. При этом определяют, что мощность возбуждения выросла выше порогового значения, так что требуются дальнейшие тесты для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14. Если выборка мощности возбуждения еще не выросла выше соответствующего порогового значения, то тогда в расходных трубках 12 и 14 трещины еще нет и обработка в элементах фиг. 12 завершена. Если трещины нет, то обработка в элементе 906 фиг. 9 завершена и при этом обработка продолжается в элементе 908 фиг. 9. В противном случае требуется дополнительная проверка для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14, при этом обработка продолжается в элементе 1302.

Элемент 1302 использован для сравнения выборки частоты F, вычисленной при работе элемента 900, с указанным выше REF. CRACK. MINF. При этом определяют, что частота упала ниже порогового значения, так что требуются дальнейшие тесты для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14. Если выборка частоты еще не

упала ниже соответствующего порогового значения, то тогда в расходных трубках 12 и 14 трещины еще нет и обработка в элементах фиг. 12 завершена. Если трещины нет, то обработка в элементе 906 фиг. 9 завершена и при этом обработка продолжается в элементе 908 фиг. 9. В противном случае требуется дополнительная проверка для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14, при этом обработка продолжается в элементе 1304.

Элемент 1304 использован для сравнения вычисленного наклона изменений мощности возбуждения PSLOPE, вычисленного при работе элемента 904, с указанным выше REF. CRACK. MAXPSLOPE. При этом определяют, что наклон мощности возбуждения вырос выше порогового значения, так что требуются дальнейшие тесты для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14. Если выборка наклона мощности возбуждения еще не выросла выше соответствующего порогового значения, то тогда в расходных трубках 12 и 14 трещины еще нет и обработка в элементах фиг. 12 завершена. Если трещины нет, то обработка в элементе 906 фиг. 9 завершена и при этом обработка продолжается в элементе 908 фиг. 9. В противном случае требуется дополнительная проверка для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14, при этом обработка продолжается в элементе 1306.

Элемент 1306 использован для сравнения вычисленного наклона изменений частоты FSLOPE, вычисленного при работе элемента 900, с указанным выше REF. CRACK. MINFSLOPE. При этом определяют, что наклон частоты упал ниже порогового значения, так что требуются дальнейшие тесты для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14. Если наклон частоты еще не достиг соответствующего характеристического порогового значения, то тогда в расходных трубках 12 и 14 трещины еще нет и обработка в элементах фиг. 12 завершена. Если трещины нет, то обработка в элементе 906 фиг. 9 завершена и при этом обработка продолжается в элементе 908 фиг. 9. В противном случае требуется дополнительная проверка для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14, при этом обработка продолжается в элементе 1308.

Элемент 1308 использован для сравнения вычисленной кривизны изменений мощности возбуждения PCURV, вычисленной при работе элемента 904, с указанным выше REF. CRACK. MAXPCURV. При этом определяют, что кривизна мощности возбуждения выросла выше порогового значения, так что требуются дальнейшие тесты для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14. Если кривизна мощности возбуждения еще не достигла соответствующего порогового значения, то тогда в расходных трубках 12 и 14 трещины еще нет и обработка в элементах фиг. 12 завершена. Если трещины нет, то обработка в элементе 906 фиг. 9 завершена и при этом обработка продолжается в элементе 908 фиг. 9. В противном случае требуется дополнительная проверка для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14, при этом обработка продолжается в элементе 1310.

Элемент 1310 использован для сравнения

вычисленной кривизны изменений частоты FCURV, вычисленной при работе элемента 900, с указанным выше REF. CRACK. MINFCURV. При этом определяют, что кривизна частоты упала ниже порогового значения, так что требуются дальнейшие тесты для определения наличия трещины в расходных трубках 12 и 14. Если кривизна частоты еще не достигла соответствующего характеристического порогового значения, то тогда в расходных трубках 12 и 14 трещины еще нет и обработка в элементах фиг. 12 завершена. Если трещины нет, то обработка в элементе 906 фиг. 9 завершена и при этом обработка продолжается в элементе 908 фиг. 9. В противном случае есть трещина в расходных трубках 12 и 14, при этом обработка продолжается в элементе 1312.

Элемент 1312 использован для останова насоса 180 при подаче соответствующего сигнала по линии 170. При останове насоса 180 прекращается поток материала через расходные трубки 12 и 14, что снижает возможность вытекания материала через трещину в расходных трубках 12 и 14.

Элемент 1314 использован для открывания клапана 181 при подаче соответствующего сигнала по линии 171. При открывании клапана 181 снижается обратное давление в расходомере 10, что дополнительно снижает возможность вытекания материала через трещину в расходных трубках 12 и 14.

Элемент 1316 использован для оповещения оператора о существовании трещины в расходных трубках 12 и 14 расходомера 10. Соответствующее сообщение передается по линии 172 и индицируется на панели 182. Это завершает обработку в элементах фиг. 13 и, следовательно, в элементе 906 фиг. 9. Обработка продолжается в элементе 908 фиг. 9.

На фиг. 14 показана блок-схема, описывающая дополнительные детали работы указанного выше элемента 908. В частности, элементы фиг. 14 использованы для вычисления скорректированного массового расхода через расходомер 10. Скорректированный массовый расход получают с использованием коэффициента ошибки (процента ошибки), который определяют по данным измеренного массового расхода и вычисленной летучей фракции материала, протекающего через расходные трубки 12 и 14. Летучая фракция определена как функция выборки частоты и выборки мощности возбуждения, как это показано на фиг. 6 и обсуждено выше. Процент ошибки определен как функция вычисленной летучей фракции материала и измеренного массового расхода, полученных измерительным блоком 24 расходомера 10, как это показано на фиг. 8 и обсуждено выше. Затем процент ошибки применяют для измеренного массового расхода, чтобы получить значение скорректированного массового расхода. Показанная на фиг. 6 и 8 информация кодируется в ПЗУ 202, как это описано выше, и используется для определения летучей фракции и процента ошибки, необходимого для коррекции измеренного массового расхода. Кодировка информации REF. MASS\_CORRECT. VOID\_FRACTION, запомненной в памяти ПЗУ 202 и показанной на фиг. 6, использована для

вычисления летучей фракции как функции измеренной частоты и мощности возбуждения. Кодировка информации REF. MASS \_ CORRECT. ERROR\_PERCENT, запомненной в памяти ПЗУ 202 и показанной на фиг. 8, использована для вычисления процента ошибки как функции измеренного массового расхода и вычисленной летучей фракции.

Использование скорректированного массового расхода позволяет производить более точные измерения в широком диапазоне условий протекания процесса.

Элемент 1400 использован для определения летучей фракции материала, протекающего через расходомер 10. Летучая фракция определена как функция F, P, FSLOPE, PSLOPE, FCURV и PCURV, которые найдены при работе элементов 900 и 904, описанных выше, использованных совместно с информацией, описанной на фиг. 6 и закодированной в ПЗУ 202 как REF. MASS \_ CORRECT. VOID \_ FRACTION. Как указано ранее, информация в ПЗУ 202 может быть закодирована в виде таблицы или в виде коэффициентов полиномиального уравнения, использованных для определения летучей фракции. Табличная форма является предпочтительной при использовании дешевых микропроцессоров, таких как ЦП 200 фиг. 2, имеющих ограниченные возможности проведения вычислений. Текущие значения F, P, FSLOPE и PSLOPE использованы для интерполяции в таблице вводов, запомненных в REF. MASS \_ CORRECT. VOID \_ FRACTION в ПЗУ 202, для определения текущего значения летучей фракции материала, протекающего через расходомер 10.

Элемент 1402 использован для определения процента ошибки, который применен для коррекции измеренного массового расхода расходомера 10. Процент ошибки определен как функция M, найденная при работе элемента 900, описанного выше, и зависит от летучей фракции, вычисленной ранее в элементе 1400; эта функция использована совместно с информацией, описанной на фиг. 8 и закодированной в ПЗУ 202 как REF. MASS \_ CORRECT. ERROR\_PERCENT. Как указано ранее, информация в ПЗУ 202 может быть закодирована в виде таблицы или в виде коэффициентов полиномиального уравнения, использованных для определения летучей фракции. Табличная форма является предпочтительной при использовании дешевых микропроцессоров, таких как ЦП 200 фиг. 2, имеющих ограниченные возможности проведения вычислений. Текущие значения M и содержание летучей фракции, найденные при работе элемента 1400, использованы для интерполяции в таблице вводов, запомненных в REF. MASS \_ CORRECT. ERROR\_PERCENT в ПЗУ 202, для определения текущего значения процента ошибки для корректировки измеренного массового расхода материала, протекающего через расходомер 10.

Элемент 1404 использован для определения из M скорректированного массового расхода материала и вычисления процента ошибки, который находят при работе элемента 1402, что обсуждалось ранее. Процент ошибки применяют для измеренного массового расхода материала, чтобы скорректировать воздействие летучей фракции на измеренный массовый расход.

Элемент 1406 использован для оповещения оператора о получении скорректированного массового расхода, путем индикации сообщения на панели 182, переданного по линии 172.

Элемент 1408 использован для сравнения скорректированного массового расхода, полученного при работе элемента 1406, с номинальным порогом минимального расхода, который запомнен в ПЗУ 202 у REF. MINM, как это обсуждалось ранее. Если величина скорректированного массового расхода лежит ниже пороговой величины, то обработка продолжается в элементе 1410. В противном случае обработка продолжается в элементе 1412.

Элемент 1410 использован для увеличения массового расхода путем увеличения скорости насоса 180 и за счет открывания клапана 181. ЦП 200 фиг. 2 управляет работой насоса 180 и клапана 181, подавая на них сигналы управления по соответствующим линиям 170 и 171. На этом завершается обработка в элементах фиг. 14 и, следовательно, в элементе 908 фиг. 9. Но обработка продолжается в элементе 910 фиг. 9.

Элемент 1412 использован для сравнения скорректированного массового расхода, полученного при работе элемента 1406, с номинальным порогом максимального расхода, который запомнен в ПЗУ 202 у REF. MAXM, как это обсуждалось ранее. Если величина скорректированного массового расхода лежит выше пороговой величины, то обработка продолжается в элементе 1414. В противном случае в элементах фиг. 14 и, следовательно, в элементе 908 фиг. 9, обработка завершена и продолжается в элементе 910 фиг. 9.

Элемент 1414 использован для уменьшения массового расхода путем уменьшения скорости насоса 180 и за счет закрывания клапана 181. ЦП 200 фиг. 2 управляет работой насоса 180 и клапана 181, подавая на них сигналы управления по соответствующим линиям 170 и 171. На этом завершается обработка в элементах фиг. 14 и, следовательно, в элементе 908 фиг. 9. Но обработка продолжается в элементе 910 фиг. 9.

На фиг. 15 показана блок-схема, описывающая дополнительные детали работы указанного выше элемента 910. В частности, элементы фиг. 15 использованы для обнаружения других ошибочных рабочих состояний расходомера 10. Как указано выше, характеристическая информация для каждого обнаруживаемого ошибочного состояния хранится в ПЗУ 202 закодированной в виде верхнего и нижнего предельных значений для объединенных вычисленных наклона и кривизны изменений для каждого соответствующего рабочего параметра. Как указано выше, в ПЗУ 202 в REF. NUMFAULTS хранится ряд других ошибочных состояний, которые могут быть обнаружены при помощи способов в соответствии с настоящим изобретением. Характеристическая информация для всех ошибочных состояний, которые могут быть обнаружены, хранится в решетке структур REF. FAULT [], как это обсуждалось ранее.

Специалисты в данной области легко поймут, что обнаружение трещины в расходных трубках 12 и 14 расходомера 10,



как это показано на фиг. 13 и обсуждалось выше, является только примером обнаружения ошибки при использовании общих способов обнаружения ошибок, описанных здесь со ссылкой на фиг. 15. Обнаружение трещины отдельно обсуждено со ссылкой на фиг. 13 для разъяснения точного способа обнаружения трещины по способу в соответствии с настоящим изобретением. Пороговые значения, закодированные в REF. CRACK, могут быть аналогично закодированы для любого из дефектов, который может быть обнаружен способами фиг. 15 и закодирован в ПЗУ 202 внутри REF. FAULT.

Элемент 1500 использован для установки нуля петлевой переменной подсчета, именуемой I, которая запомнена в памяти ПЗУ 201. I использована в последующих элементах для определения (констатации) завершения обработки всех дефектных состояний, которые могут быть обнаружены.

Элемент 1502 использован для сравнения каждого выбранного рабочего параметра с соответствующими верхними и нижними пороговыми значениями, которые закодированы и хранятся в памяти ПЗУ 202. В частности, M сравнивается с REF. FAULT. [I]. MINM и с REF. FAULT. [I]. MAXM. Аналогичным образом каждый из P, F и T сравнивается с его соответствующими верхними и нижними пороговыми значениями, а именно: REF. FAULT. [I]. MINP, REF. FAULT. [I]. MAXP; REF. FAULT. [I]. MINF, REF. FAULT. [I]. MAXF; REF. FAULT. [I]. MINT, REF. FAULT. [I]. MAXT. Если при любом сравнении окажется, что любой из выбранных рабочих параметров выпадает из соответствующего диапазона, то тогда имеется соответствующий дефект и обработка продолжается в элементе 1512. В противном случае обработка продолжается в элементе 1504.

Элемент 1504 использован для сравнения вычисленного наклона изменения каждого выбранного рабочего параметра с его соответствующими верхними и нижними пороговыми значениями, которые закодированы и хранятся в памяти ПЗУ 202. В частности, MSLOPE сравнивается с REF. FAULT. [I]. MINMSLOPE и REF. FAULT. [I]. MAXMSLOPE. Указанным образом каждое из значений PSLOPE, FSLOPE и TSLOPE сравнивается с его соответствующими верхними и нижними пороговыми значениями, а именно: REF. FAULT. [I]. MINPSLOPE и REF. FAULT. [I]. MAXPSLOPE; REF. FAULT. [I]. MINFSLOPE и REF. FAULT. [I]. MAXFSLOPE; и REF. FAULT. [I]. MINTSLOPE и REF. FAULT. [I]. MAXTSLOPE. Если в результате любого из сравнений окажется, что любой из вычисленных наклонов выпадает из заданного диапазона, то имеется соответствующая ошибка и обработка продолжается в элементе 1512. В противном случае обработка продолжается в элементе 1506.

Элемент 1506 использован для сравнения вычисленной кривизны изменения каждого выбранного рабочего параметра с его соответствующими верхними и нижними пороговыми значениями, которые закодированы и хранятся в памяти ПЗУ 202. В частности, MCURV сравнивается с REF. FAULT. [I]. MINMCURV и REF. FAULT. [I]. MAXMCURV. Указанным образом каждое из значений PCURV, FCURV и TCURV

сравнивается с его соответствующими верхними и нижними пороговыми значениями, а именно: REF. FAULT. [I]. MINPCURV и REF. FAULT. [I]. MAXPCURV; REF. FAULT. [I]. MINFCURV и REF. FAULT. [I]. MAXFCURV; REF. FAULT. [I]. MINTCURV и REF. FAULT. [I]. MAXTCURV. Если в результате любого из сравнений окажется, что любое из вычисленных значений кривизны выпадает из заданного диапазона, то имеется соответствующая ошибка и обработка продолжается в элементе 1512. В противном случае обработка продолжается в элементе 1508.

Элемент 1508 использован для увеличения значения петлевого счетчика I на единицу для подготовки проверки следующего ошибочного состояния, описанного в решетке REF. FAULT. [I] и закодированного характеристической информацией.

Элемент 1510 использован для сравнения значения петлевого счетчика I с REF. NUMFAULTS. Если значение I еще не достигло числа ошибок, закодированных в решетке REF. FAULT. [I], то обработка в элементе 1502 продолжается для другой характерной ошибки, закодированной в памяти ПЗУ 202. В противном случае при этом завершается обработка в элементах фиг. 15 и, следовательно, в элементе 910 фиг. 9. Но обработка продолжается в элементе 912 фиг. 9.

Элемент 1512 использован для изменения скорости насоса 180 в соответствии с процентным значением в REF. FAULT. [I]. PUMPCHANGE. Скорость насоса 180 изменяется при управлении от ЦП 200 при приложении соответствующего сигнала по линии 170. Изменение скорости насоса 180 направлено на изменение массового расхода материала в расходомере 10, чтобы скорректировать обнаруженное ошибочное состояние, закодированное в REF. FAULT. [I].

Элемент 1514 использован для изменения положения клапана 181 в соответствии с процентным значением в REF. FAULT. [I]. VALVECHANGE. Положение клапана 181 изменяется при управлении от ЦП 200 при приложении соответствующего сигнала по линии 171. Изменение положения клапана 181 направлено на изменение массового расхода материала в расходомере 10, чтобы скорректировать обнаруженное ошибочное состояние, закодированное в REF. FAULT. [I].

Элемент 1516 использован для индикации сообщения о случившемся ошибочном состоянии на панели 182. Индицируемое сообщение выбирают (находят) из REF. FAULT. [I]. DISPLAY. Сообщение индицируется на панели 182 при управлении от ЦП 200 при приложении соответствующего сигнала по линии 172. При этом завершается обработка в элементах фиг. 15 и, следовательно, в элементе 910 фиг. 9. Но обработка продолжается в элементе 912 фиг. 9.

Несмотря на то, что был описан предпочтительный вариант осуществления изобретения, совершенно ясно, что изобретение не ограничивается этим вариантом, причем в него специалистами в данной области могут быть внесены изменения и дополнения, которые не выходят однако за рамки приведенной далее формулы изобретения и соответствуют его духу. В частности, способы и устройства в

соответствии с настоящим изобретением могут быть применены к массовому расходомеру Кориолиса с любой формой расходных трубок, в том числе с трубками так называемой "U" - образной формы, с прямыми трубками и с другими трубками. Кроме того, информация и графики, приведенные на фиг. 3 - 8, представляют собой результаты измерений, проведенных на множестве расходомеров в различное время и при различных рабочих условиях. Поэтому данные одного графика фиг. 3-8 не могут быть в полном объеме сравнены с данными другого графика. Имеется множество переменных, которые использованы в определении выходных данных расходомера. Среди таких переменных можно указать следующие: толщина стенок расходных трубок, температура материала, вязкость и скорость потока; свойства упругости материала, из которого изготовлены расходные трубки, и т.п. В результате приведенные на каждой из фигур данные являются только иллюстративными и не могут быть использованы для установления соотношений между различными параметрами, показанными на том же самом графике. Так как использовано множество переменных, то нельзя предполагать, что показанные цифровые значения могут быть точно воспроизведены другими исследователями.

#### Формула изобретения:

1. Способ диагностики нарушений режима работы массового расходомера с использованием эффекта Кориолиса, включающий измерение значений текущих рабочих параметров расходомера, в том числе частоты вибраций и мощности возбуждения, вычисление первой и второй производных измеренных значений рабочих параметров, определение наличия отклонения измеренных значений рабочих параметров и вычисленных первой и второй производных от пороговых значений, свидетельствующего о наличии нарушения по меньшей мере одного из режимов работы расходомера, формирование выходного сигнала, идентифицирующего нарушение одного из режимов работы расходомера, и подачу выходного сигнала к исполнительным средствам для начала корректирующего воздействия при наличии по меньшей мере одного из нарушенных режимов работы или для прекращения потока материала через расходомер при появлении по меньшей мере другого одного из нарушенных режимов работы.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при наличии трещины в расходной трубке расходомера пороговое значение первой производной измеренной частоты вибраций меньше нуля, пороговое значение первой производной измеренной мощности возбуждения, главным образом, равно нулю, пороговое значение второй производной измеренной частоты вибрации меньше нуля или, главным образом, равно нулю, пороговое значение второй производной измеренной мощности возбуждения, главным образом, равно нулю.

3. Способ по п. 2, отличающийся тем, что выходной сигнал указывает на наличие трещины в расходной трубке расходомера, когда первая производная измеренной частоты вибраций ниже порогового значения первой производной частоты вибраций,

первая производная измеренной мощности возбуждения выше порогового значения первой производной мощности возбуждения, вторая производная измеренной частоты вибраций ниже порогового значения второй производной частоты вибраций, вторая производная измеренной мощности возбуждения выше порогового значения второй производной мощности возбуждения.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что при недопустимых изменениях плотности материала, протекающего через массовый расходомер, пороговое значение первой производной измеренной частоты вибраций меньше нуля или, главным образом, равно нулю, пороговое значение первой производной измеренной мощности возбуждения, главным образом, равно нулю, пороговое значение второй производной измеренной частоты вибраций больше нуля или, главным образом, равно нулю.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что при недопустимом содержании летучей фракции в материале, протекающем через массовый расходомер, пороговое значение первой производной измеренной частоты вибраций больше нуля, пороговое значение первой производной измеренной мощности возбуждения больше нуля, пороговое значение второй производной измеренной частоты вибраций, главным образом, равно нулю и пороговое значение второй производной измеренной мощности возбуждения больше нуля.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при недопустимом содержании массовой фракции материала, протекающего через массовый расходомер, пороговое значение первой производной измеренной частоты вибраций меньше нуля, пороговое значение второй производной измеренной частоты вибраций, главным образом, равно нулю, пороговое значение второй производной измеренной мощности возбуждения, главным образом, равно нулю.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает выработку выходного сигнала, несущего информацию об измеренном текущем массовом расходе работающего расходомера, определение содержания летучей фракции материала, протекающего через расходомер, как функции измеренных текущих рабочих параметров и их производных, определение коэффициента коррекции ошибки как функции измеренного массового расхода и содержания летучей фракции материала, определение скорректированного массового расхода с использованием измеренного массового расхода и коэффициента коррекции ошибки, при этом указанным выходным сигналом, пропорциональным разности скорректированного массового расхода и измеренного расхода, воздействуют на исполнительные органы для изменения скорости потока материала, протекающего через расходомер.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что определение содержания летучей фракции включает в себя интерполяцию табличных значений частоты вибраций и мощности возбуждения.

9. Способ по п.7, отличающийся тем, что определение коэффициента коррекции ошибки включает в себя интерполяцию

табличных значений.

10. Способ по одному из пп.1 - 9, отличающийся тем, что при помощи исполнительных средств производят управление насосом (180), объединенным с указанным расходомером, для изменения расхода материала, протекающего через расходомер.

11. Способ по одному из пп.1 - 10, отличающийся тем, что при помощи исполнительных средств производят управление клапаном (181), объединенным с указанным расходомером, для изменения расхода материала, протекающего через расходомер.

12. Устройство для диагностики нарушений режима работы массового расходомера на эффекте Кориолиса, включающее средство ввода, подключенное к массовому расходомеру на эффекте Кориолиса, для получения информации, которая включает в себя измеренные значения текущих рабочих параметров расходомера, представляющие

собой частоту вибраций расходных трубок расходомера и мощность возбуждения расходомера, запоминающие средства для хранения характеристической информации о нарушениях, вызываемых известными рабочими аномалиями, средство для вычисления первой и второй производных измеренных рабочих параметров и средство обнаружения, подключенное к средству ввода, средству вычисления, запоминающим средствам и к средству вывода для сравнения измеренных значений рабочих параметров и вычисленных первой и второй производных с характеристической информацией об ошибках, для диагностики появления одного из нарушенных режимов и подачи сигнала к средству вывода с целью индикации появления одного из нарушенных режимов и начала корректирующего воздействия или для прекращения потока материала через расходомер в зависимости от идентификации выявленного нарушения.

5

10

15

20

25

30

35

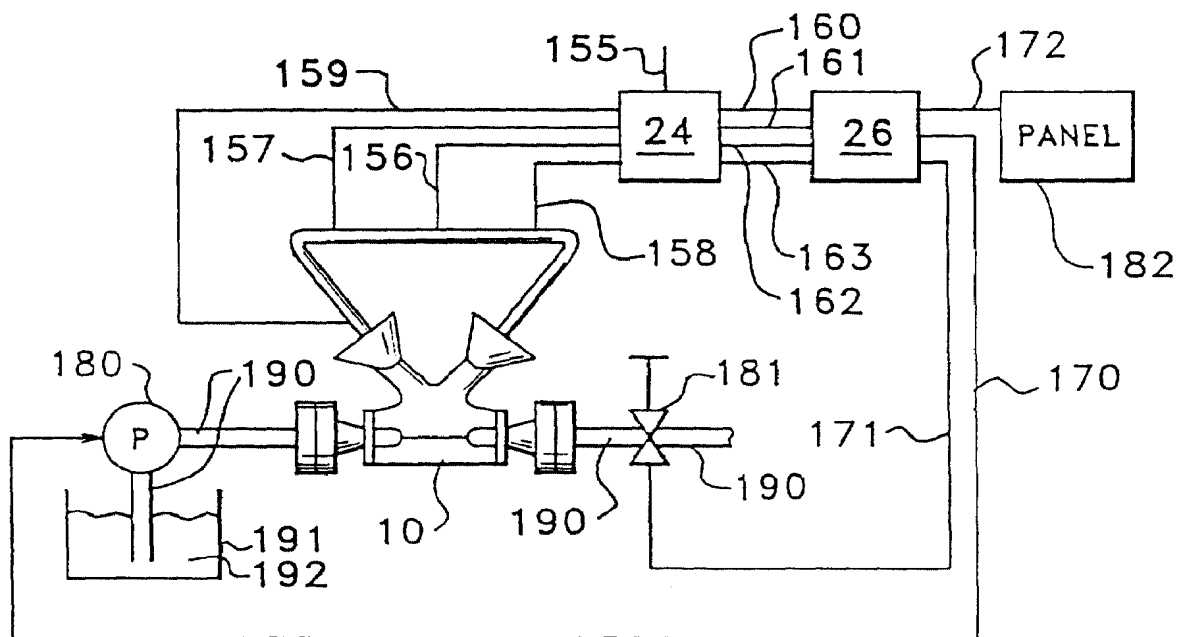
40

45

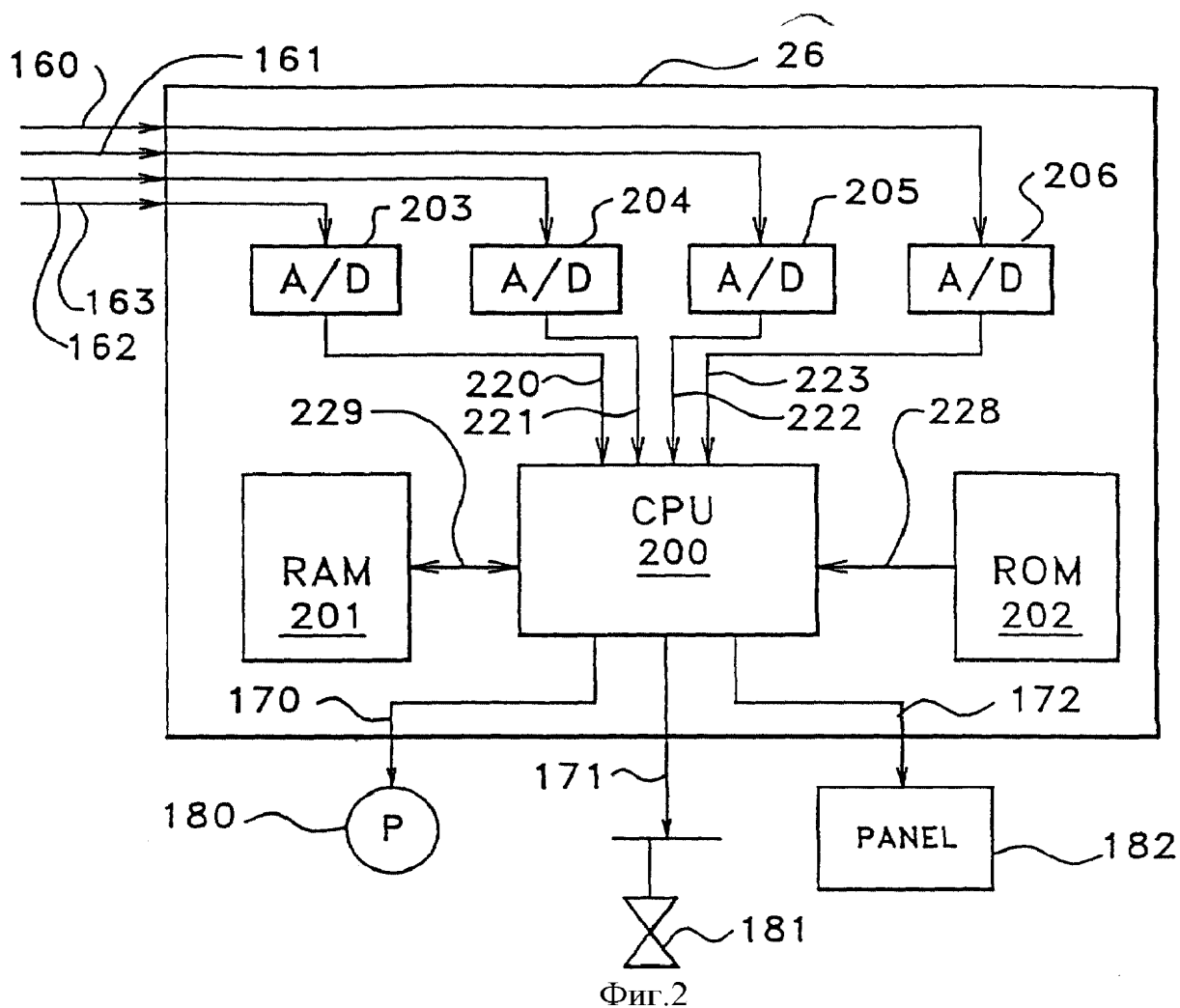
50

55

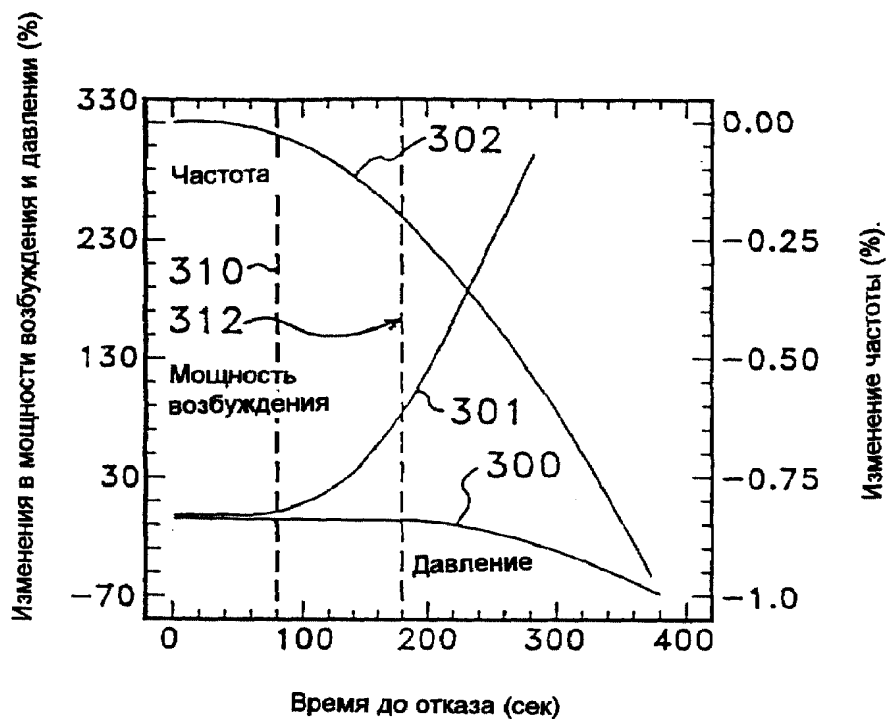
60



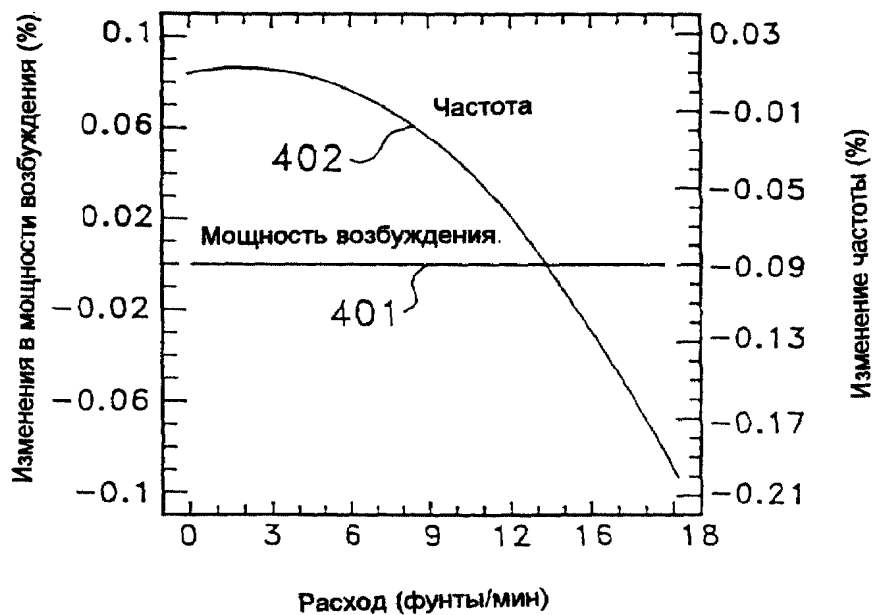
Фиг.1А



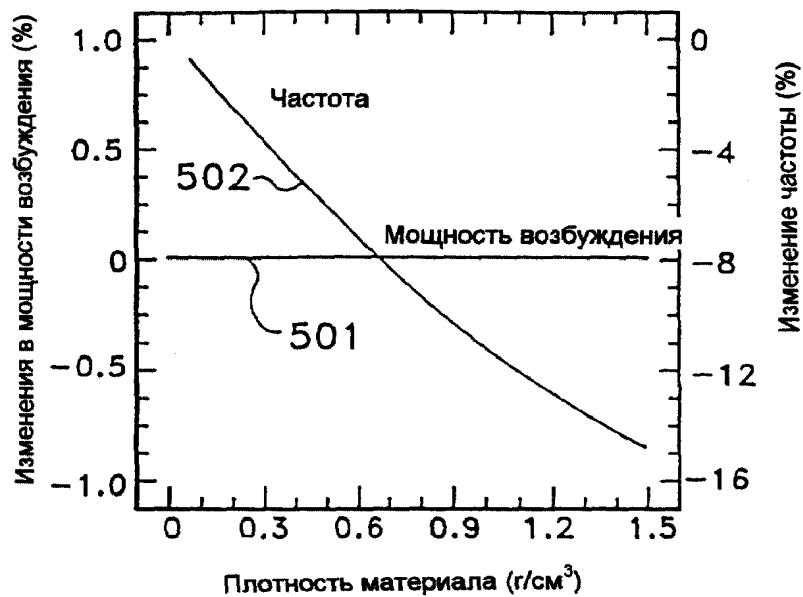
Фиг.2



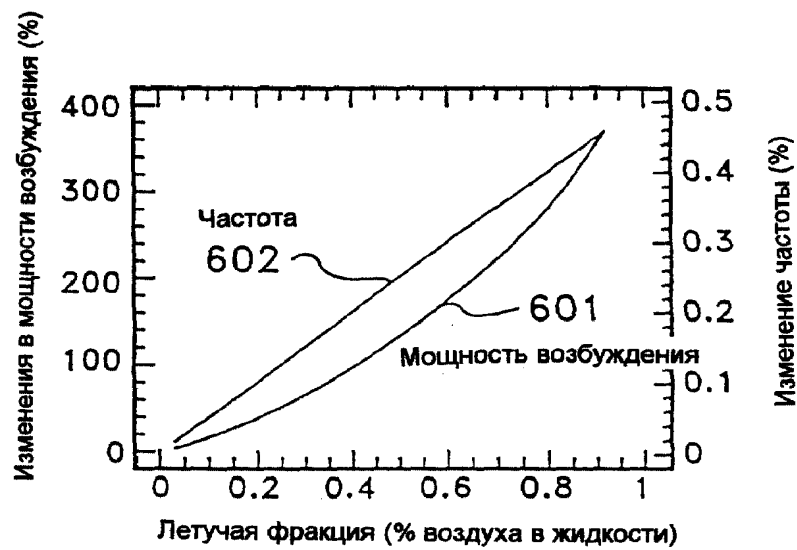
Фиг.3



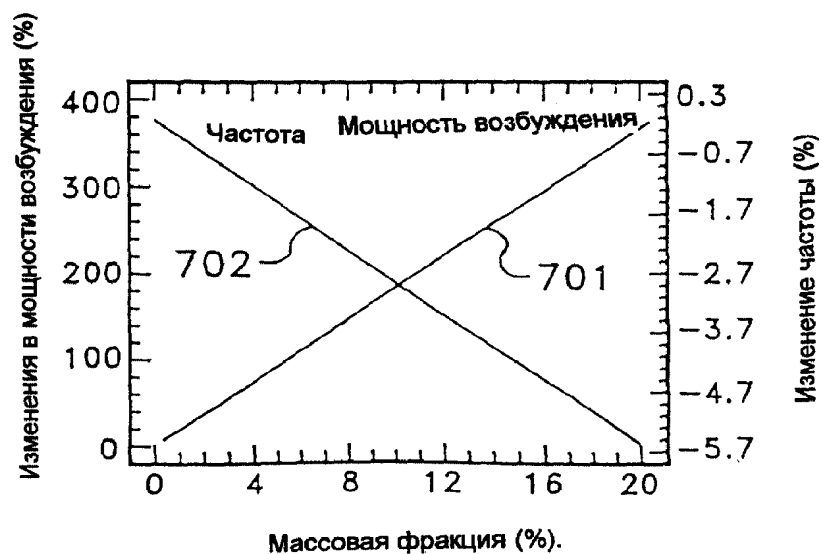
Фиг.4



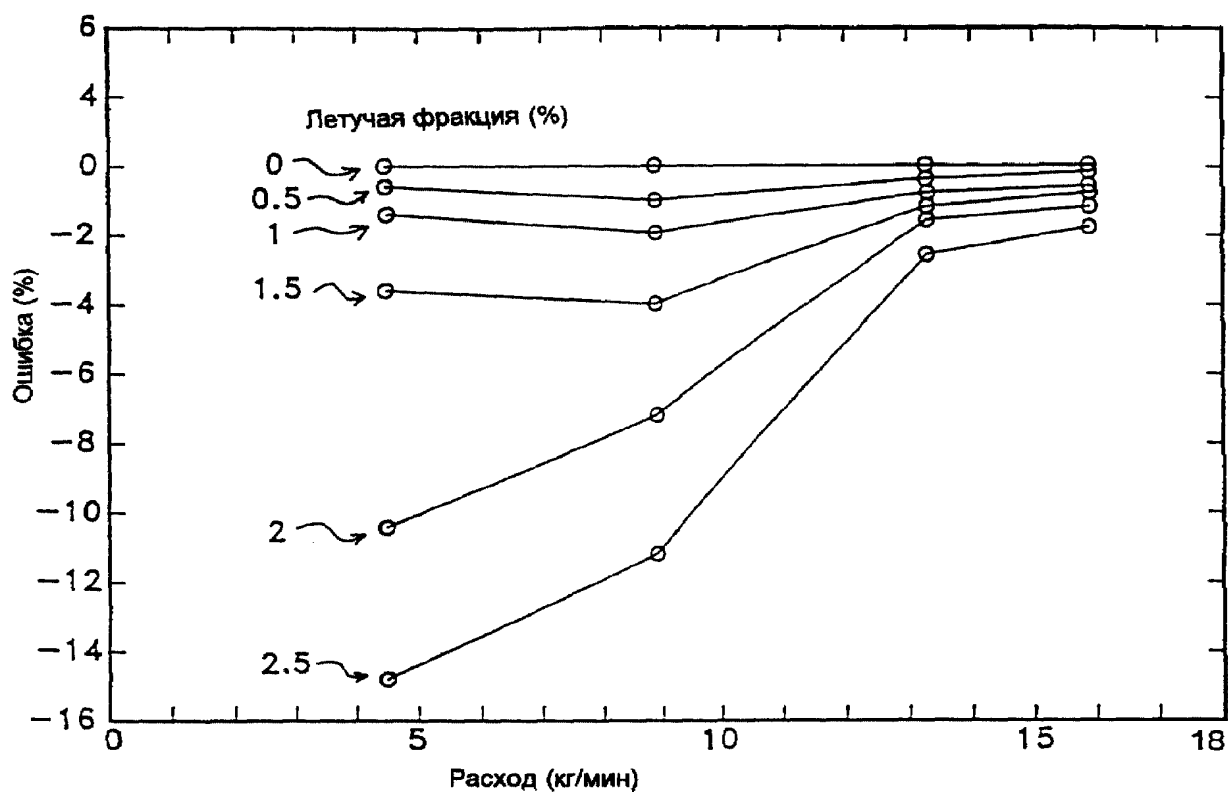
Фиг.5



Фиг.6



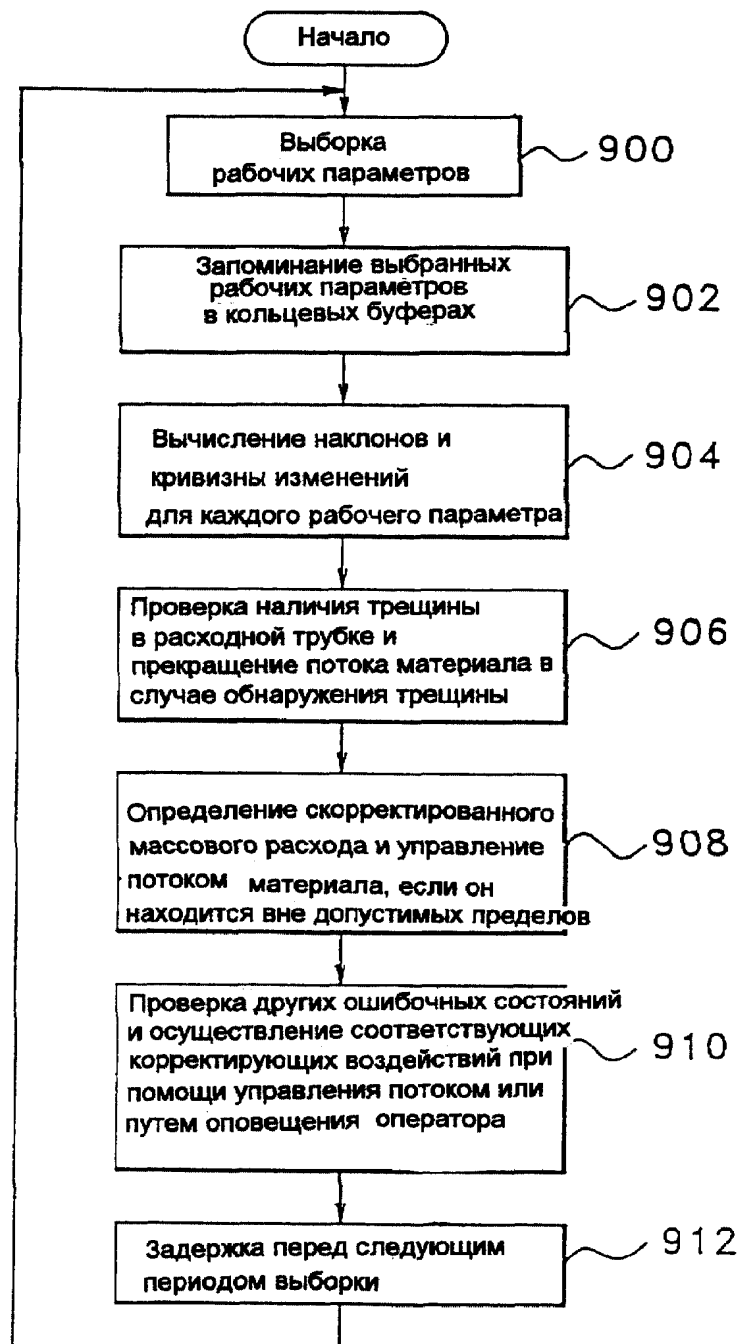
Фиг.7



Фиг.8

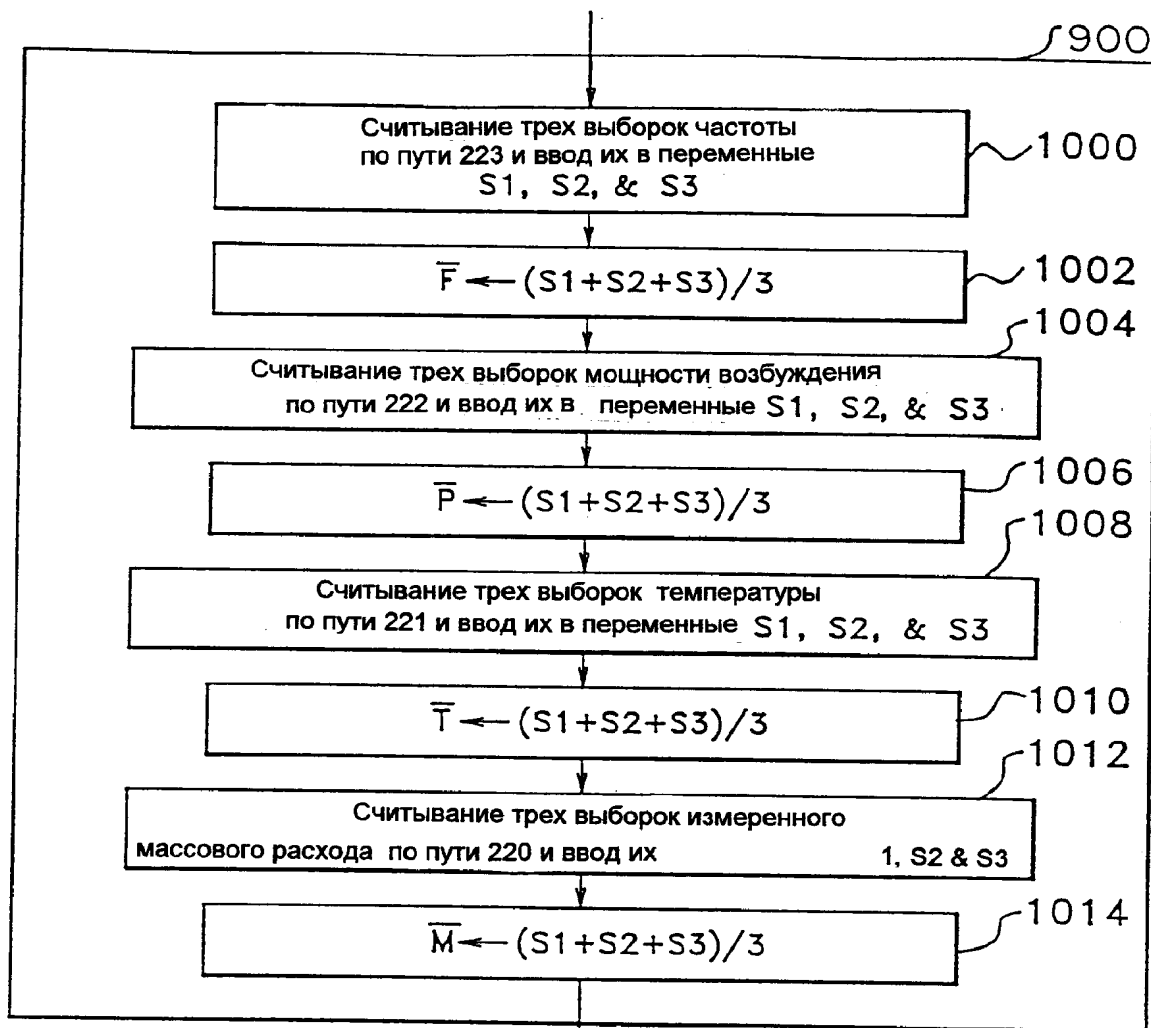
RU 2164009 C2

RU 2164009 C2

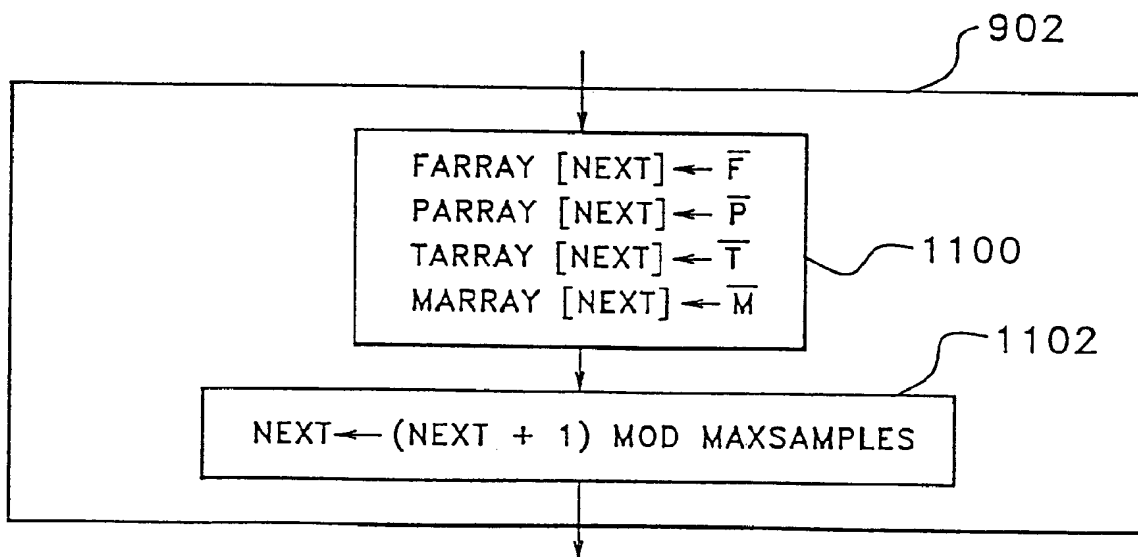


Фиг.9

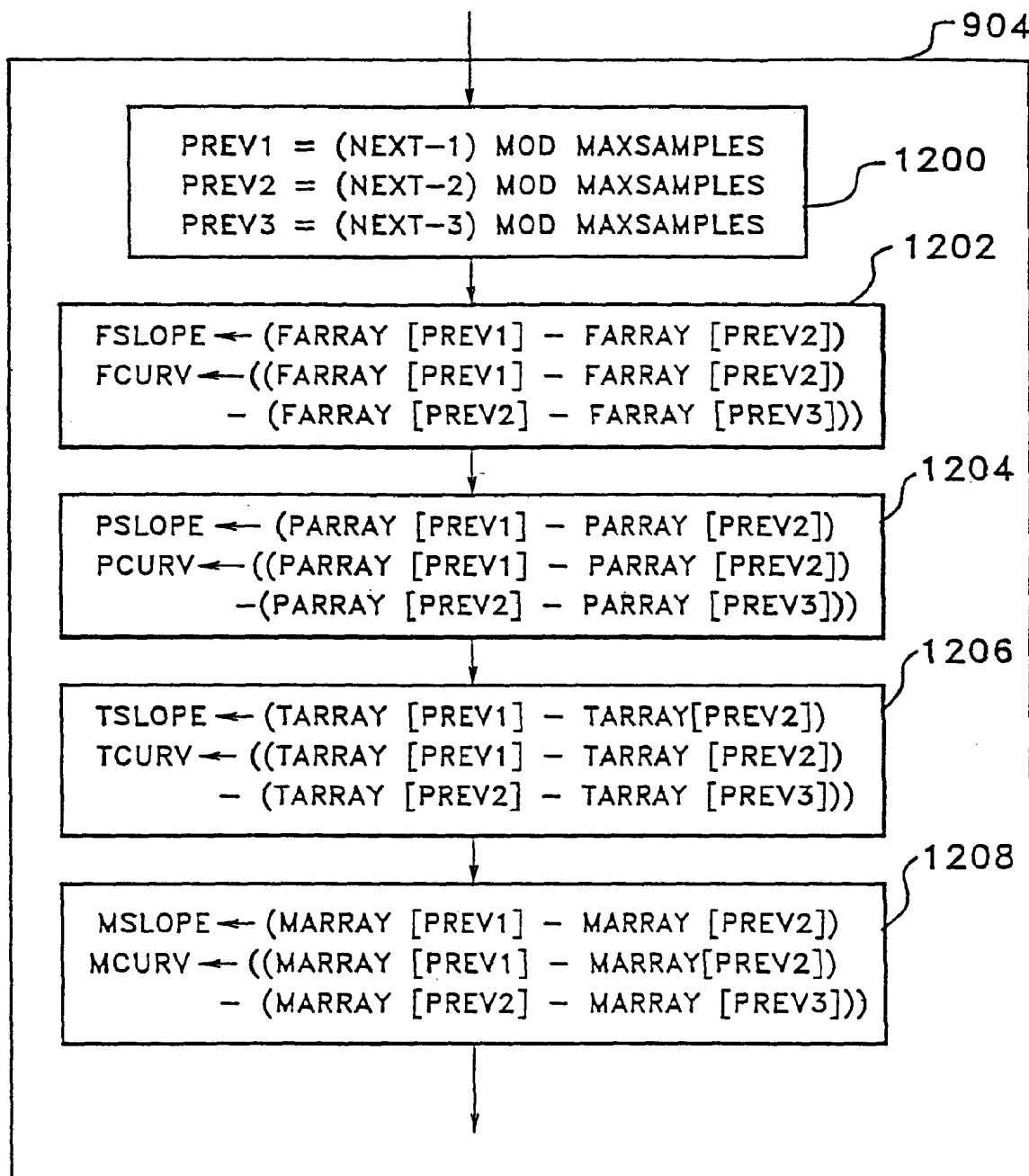




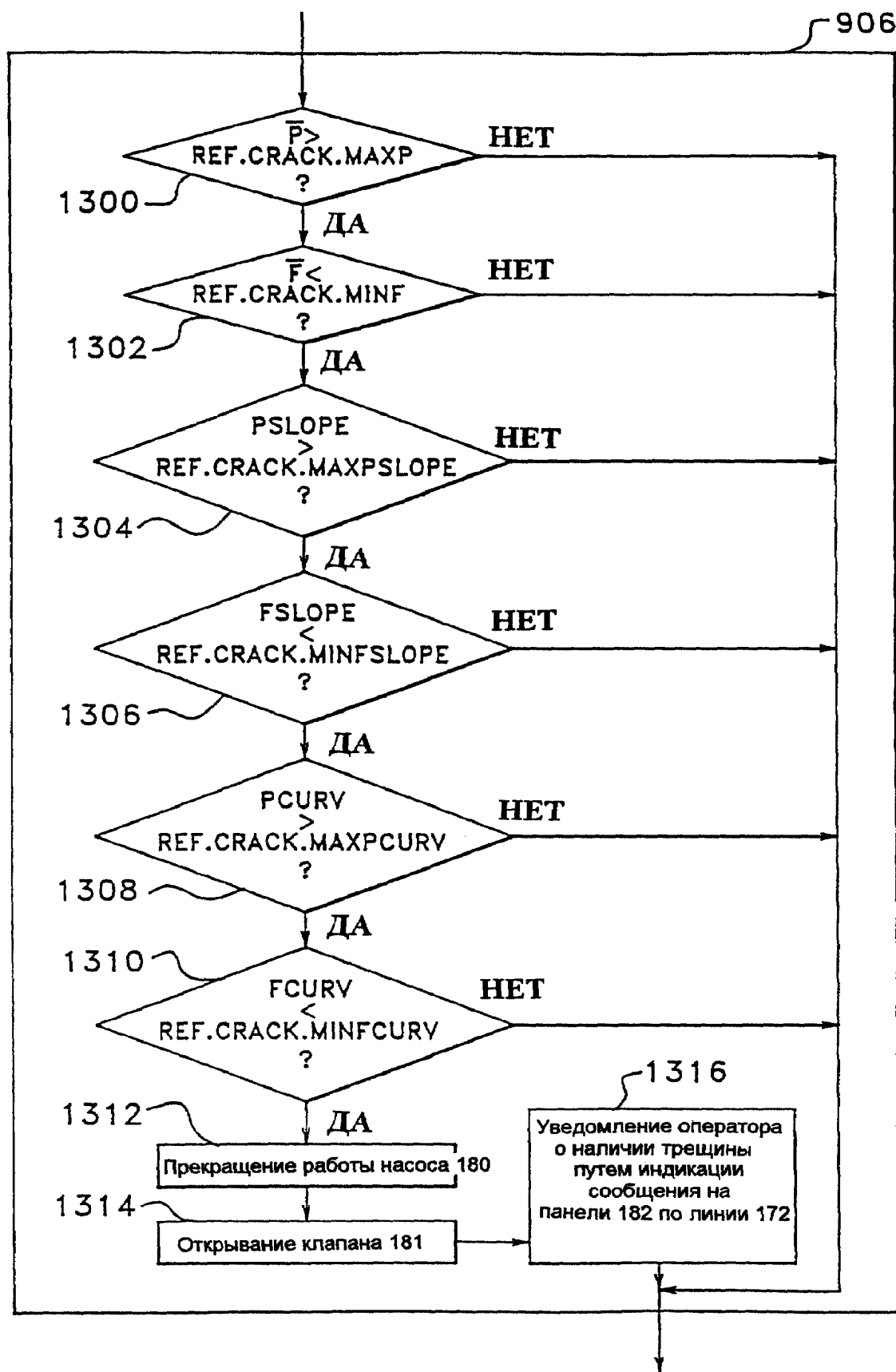
Фиг.10



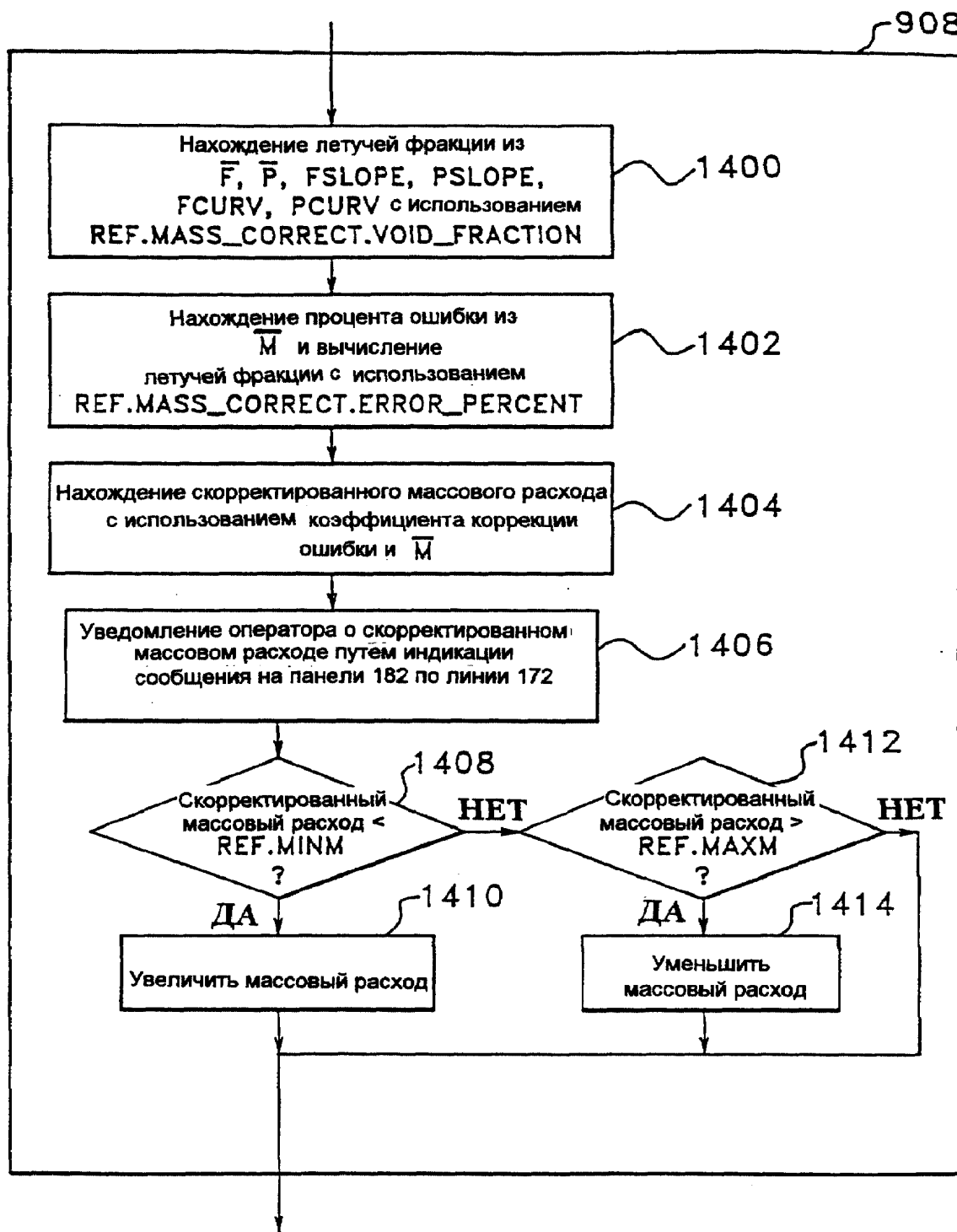
Фиг.11



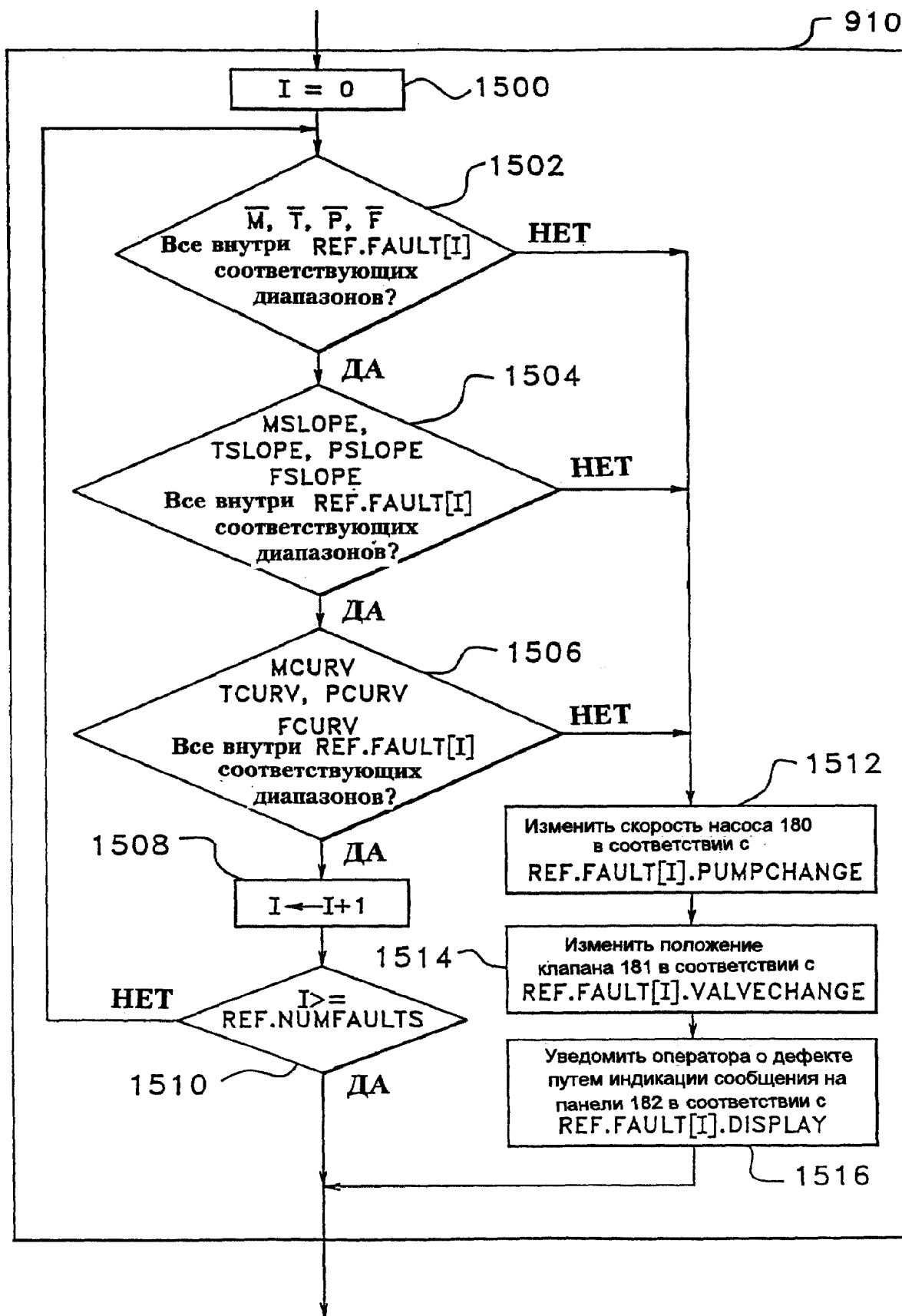
Фиг.12



Фиг.13



Фиг.14



Фиг.15